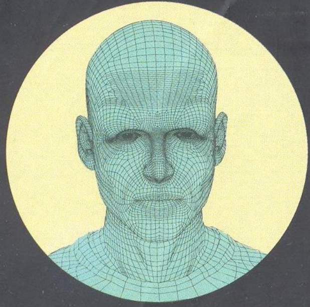
RAY KURZWEIL



İNSANLIK 2.0

ALFA

RAY KURZWEIL

İNSANLIK 2.0

Tekilliğe Doğru
Biyolojisini Aşan İnsan

ALFA | BİLİM

2930 | ALFA | BİLİM | 112

İNSANLIK 2.0

RAY KURZWEIL

Ray Kurzweil, yirmi yıldır ortaya doğru tahminler koymuş, dünyanın önde gelen mucit, düşünür ve fütüristlerinden biridir. *The Wall Street Journal*'ın "yerinde duramayan dâhi," *Forbes* dergisinin "en büyük düşünme makinesi" olarak nitelediği Kurzweil, kendisini "Thomas Edison'ın gerçek mirasçısı" olarak tanımlayan *Inc.* dergisi tarafından en önemli girişimcilerden biri seçildi. *PBS*, son iki yüz yılın diğer mucitleriyle birlikte Kurzweil'ı "Amerika'yı Amerika yapan on altı devrimciden biri" seçti. Ulusal Mucitler Onur Listesinin üyesi ve Ulusal Teknoloji Madalyası, Lemelson-MIT Ödülü (Dünyanın en büyük icat ödülü) ve on üç fahri doktora sahibi olmasının yanı sıra üç ABD başkanından ödül almıştır. *Tekillik*'ten önce yayımladığı dört kitabı vardır: *Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever* (tıp doktoru Terry Grossman ile birlikte), *The Age of Spiritual Machines*, *The 10% Solution for a Healthy Life* ve *The Age of Intelligent Machines*.

MİNE ŞENGEL

İzmir Amerikan Kız Lisesini bitirdikten sonra Boğaziçi Üniversitesi Tarih ve Dokuz Eylül Üniversitesi Kent Planlama Bölümlerinde okudu. Son 25 yıl içinde iletişim, teknoloji ve sanat alanlarında yaptığı çevirilere ağırlık verdi. Yayımlanmış çevirilerinden bazıları: *Neden Canımız Yanar* (F. T. Vertosick Jr.), *Parlak Güneş Demli Çay* (T. Brosnahan), *Haritasız: Medya Sanatlarında Kullanıcı Çerçeveleri* (Santralistanbul), *68 Kuşağı: Almanya ve Huzursuz Bahar* (Santralistanbul), *Korda'nın Objektifinden Che: Bir Portrenin Devrimle Başlayıp İkonla Biten Öyküsü* (Santralistanbul), *Modern ve Ötesi* (Santralistanbul), *Photographs* (C. Birgül); *Bilgi Olarak Sanat / Olgu Olarak Sanatçı: Yeni Ontoloji* içinde "Müellif Nedir?" (M. Foucault; D. Şengel ile birlikte), "Küratörlük Yöntemi/Küratörlük Konuşmaları: Müze Konuşma Edimleri" (B. Ferguson), "Çağdaş Sanatta Yeni Gelişmeler ve Müzenin Bakış Açısı" (A. Goldstein).

İnsanlık 2.0: Tekilliğe Doğru Biyolojisini Aşan İnsan

The Singularity is Near

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Dizi Editörü Kerem Cankoçak
Redaksiyon Mehmet Ata Arslan
Kapak Tasarımı Füsun Turcan Elmasoğlu
Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-605-171-255-0
1. Basım: Nisan 2016

Baskı ve Cilt
Melisa Matbaacılık
Çiftehavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul
Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29
Sertifika no: 12088

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Fatih-İstanbul
Tel: 0(212) 511 53 03 (pbx) Faks: 0(212) 519 33 00
www.alfakitap.com - info@alfakitap.com
Sertifika no: 10905

RAY KURZWEIL

İNSANLIK 2.0

Tekilliğe Doğru
Biyolojisini Aşan İnsan

Çeviri
Mine Şengel

ALFA | BİLİM

Her türlü zorlukla yüzleşerek, düşüncelerin peşinden gitme yürekliliğini bana aşılayan annem Hannah'ya

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR

Erken dönemdeki düşünce ve buluşlarımı sorgulamadan destekleyerek bana deney yapma özgürlüğünü sağlayan annem Hannah ve babam Fredric'e; beni yüreklendiren kız kardeşim Enid'e; yaşamıma anlam, sevgi, can katan eşim Sonya ve çocuklarım Ethan ve Amy'ye yürekten teşekkür ederim.

Bu karmaşık çalışmada bana yardım eden birçok yetenekli ve özverili kişiye teşekkür etmek isterim:

Viking'den, editörüm Rick Kot'a, yol göstericiliği, hevesi ve bilinçli editörlüğü; Clare Ferraro'ya yayıncım olarak verdiği desteği; Timothy Mennel'a uzman düzeltmenliği; Bruce Giffords ve John Jusino'ya kitap üretiminin çok sayıda ayrıntısının koordinatörlüğü; Amy Hill'e kitabın içindeki metnin tasarımı; Holly Watson'a etkili tanıtım çalışmaları; Alessandra Lusardi'ye, Rick Kot'a asistanlığı; Paul Buckley'e temiz ve zarif sanat tasarımı; Herb Thornby'ye kapak tasarımı için.

İstekli ve zekice yönlendirmeleriyle bu çalışmaya kılavuzluk ederek katkıda bulunan yayın temsilcim Loretta Barrett'a; sağlık konularında beraber çalıştığım ve *Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever* [*Fantastik Yolculuk: Sonsuza Kadar Yaşayacak Kadar Uzun Yaşa*] kitabını birlikte yazdığım, birbirimize gönderdiğimiz yaklaşık 10.000 e-posta iletisi ve çok yönlü işbirliğiyle sağlık ve biyoteknoloji konusundaki düşüncelerimi geliştirmemdeki katkıları için tıp doktoru Terry Grossman'a.

Bu kitapta ele alınan teknolojilerin tümüne inancı ve bu alanlarda çeşitli teknolojilerin geliştirilmesinde yaptığımız işbirliği için Martine Rothblatt'a.

Bu çalışma ve daha birçok projedeki özverili işbirliği için, 1973'ten bu yana iş ortağım olan Aaron Kleiner'a.

İçten çabalarıyla araştırma ekibimizi başarıyla yönlendiren, ayrıca olağanüstü editörlük yeteneğiyle bu kitaptaki çok karmaşık konuları ifade etmeme yardımcı olan Amara Angelica'ya; inançlı araştırma çabalarıyla araştırma ve notlara büyük katkıları olan Kathryn Myronuk'a. Sarah Black sezgi gücü ve usta editörlüğüyle katkıda bulundu. Amara Angelica, Kathryn Myronuk, Sarah Black, Daniel Pentlarge, Emily Brown, Celia Black-Brooks, Nanda Barker-Hook, Sarah Brangan, Robert Bradbury, John Tillinghast, Elizabeth Collins, Bruce Damer, Jim Rintoul, Sue Rintoul, Larry Klaes ve Chris Wright'tan oluşan araştırma ekibim, çalışmaya büyük bir özveriyle destek verdi. Liz Berry, Sarah Brangan, Rosemary Drinka, Linda Katz, Lisa Kirschner, Inna Nirenberg, Christopher Setzer, Joan Walsh ve Beverly Zibrak ayrıca destek verdiler.

Laksman Frank, verdiğim tanımlardan çekici şemaları ve imgelerin birçoğunu oluşturdu, grafikleri biçimlendirdi.

Proje geliştirme ve iletişimde lider rol oynayan Celia Black-Brooks'a; düşüncelerimi çizime uygulayan Phil Cohen ve Ted Coyle'a, yedinci bölümün başındaki "Tekillik Yakında" fotoğrafı için Helene DeLillo'ya; araştırma ve yazım süreçlerinin çok kapsamlı lojistiğinin yönetilmesine yardım eden Nanda Barker-Hook, Emily Brown ve Sarah Brangan'a; girift iş akışımızın aksamadan yürümesini sağlayan bilgisayar sistem desteğini veren Ken Linde ve Matt Bridges'e; bu karmaşık projenin muhasebe işlerini yürüten Denise Scutellaro, Joan Walsh, Maria Ellis ve Bob Beal'e; projeye önemli araştırma desteği veren KurzweilAI.net ekibine: Aaron Kleiner, Amara Angelica, Bob Beal, Celia Black-Brooks, Daniel Pentlarge, Denise Scutellaro, Emily Brown, Joan Walsh, Ken Linde, Laksman Frank, Maria Ellis, Matt Bridges, Nanda Barker-Hook, Sarah Black ve Sarah Brangan'a; bu kitabın mesajının iletilmesine yardımları için Mark Bizzell, Deborah Lieberman, Kirsten Clausen ve Dea Eldorado'ya; nano teknolojiyle ilgili malzemeyi özenle değerlendiren Robert A. Freitas Jr.'a; bu kitapta kullanılan matematiği özenle değerlendiren Paul Linsay'e; bilimsel içeriği dikkatle okuyarak değerli yardımlarını esirgemeyen uzman meslektaşlarım Robert A. Freitas Jr. (nano teknoloji, kozmoloji), Ralph Merkle (nano teknoloji), Martine Rothblatt (biyoteknoloji, teknoloji ivmesi), Terry Grossman (sağlık, tıp, biyoteknoloji), Tomaso

Poggio (beyin bilimi ve beyinde ters mühendislik uygulamaları), John Parmentola (fizik, askeri teknoloji), Dean Kamen (teknoloji gelişimi), Neil Gershenfeld (bilişim teknolojisi, fizik, kuantum mekaniği), Joel Gershenfeld (sistem mühendisliği), Hans Moravec (yapay zekâ, robotbilim), Max More (teknoloji ivmesi, felsefe), Jean–Jacques E. Slotine (beyin ve bilişsel bilim), Sherry Turkle (teknolojinin toplumsal etkileri), Seth Shostak (SETI, kozmoloji, astronomi), Damien Broderick (teknoloji ivmesi, Tekillik) ve Harry George'a (teknoloji girişimciliği); yetkin iç okurlarım Amara Angelica, Sarah Black, Kathryn Myronuk, Nanda Barker–Hook, Emily Brown, Celia Black–Brooks, Aaron Kleiner, Ken Linde, John Chalupa ve Paul Albrecht'e; çok etkili fikirler veren dışarıdan okurlarım oğlum Ethan Kurzweil ve David Dalrymple'a; konuşmalarını ve bu konuşmalarda belirttikleri düşüncelerini kitapta kullanmama izin veren Bill Gates, Eric Drexler ve Marvin Minsky'e; düşünceleri ve çabalarıyla insan bilgisinin üstel büyümesine katkıda bulunan çok sayıda bilim insanı ve düşünüre teşekkür ederim.

Yukarıda adlarını verdiğim kişiler, onların çabaları sayesinde gerçekleştirebildiğim birçok düşünce ve düzeltmeyle katkıda bulundular. Eğer düzeltilmeden kalan hata varsa sorumluluğu yalnızca bana aittir.

Önsöz

DÜŞÜNCENİN GÜCÜ

> Sanmam ki insan yüreğinden geçen herhangi bir sevinç, mucidin, beyninin bir yaratısının başarıyla gelişip ortaya çıkışını gördüğünde duyduğu sevinç kadar olsun.
>
> —Nikola Tesla, 1896, alternatif akımın mucidi

Beş yaşındayken mucit olacağımı düşünürdüm. İcatların dünyayı değiştirebileceğini biliyordum. Diğer çocuklar yüksek sesle ne olmak istediklerini düşünürken, ben ne olacağımı bilmenin gururuyla böbürleniyordum. O sıralarda (Başkan Kennedy'nin ulusa yaptığı çağrıdan hemen hemen on yıl önce) yaptığım ay roketi başarılı olmadı. Ama sekiz yaşıma bastığım sıralarda yaptığım, sahne dekorunun ve karakterlerin mekanik bağlantılarla sahneye girip çıktığı robot tiyatrosu, sanal beysbol oyunları gibi icatlarım artık biraz daha gerçekçi olmaya başlamıştı.

Soykırımdan kaçmış sanatçılar olan annem ve babam, benim daha dünyalı, daha kentli ve daha az dindar bir eğitim almamı arzu ediyorlardı.[1] Sonuçta din eğitimimi Üniteryen kilisesinde aldım. Altı ay boyunca bir dini öğrenir –törenlerine gider, kitaplarını okur, önderleriyle konuşurduk– sonra diğer bir dine geçerdik. Buradaki düşünce, "gerçeğe giden farklı yollardı." Dünyadaki

1 Annem, suluboya resim üzerine uzmanlaşmış yetenekli bir sanatçıdır. Babam ise tanınmış bir müzisyen, Bell Senfoni Orkestrasının şefi, Queensborough Üniversitesi Müzik Bölümünün kurucusu ve eski başkanıdır.

farklı din gelenekleri arasında birçok paralellik olduğunu tabii ki fark ettim, ancak aralarındaki tutarsızlıklar bile aydınlatıcıydı. Temel gerçeklerin, açıkça görünen çelişkileri aşmaya yetecek kadar köklü olduklarını anladım.

Sekiz yaşında Tom Swift Jr. kitap dizisini keşfettim. Otuz üç kitabın hepsinde (bu kitapları 1956 yılında okumaya başladığımda yalnızca dokuz kitabı yayımlanmıştı) olay örgüsü aynıydı: Tom'un başı korkunç bir belaya girer; bu bela, Tom ve arkadaşları, hatta çoğu zaman tüm insanlığın yazgısı için tehlike oluşturur. Tom, bodrum katındaki laboratuvarına gidip, bu sorunu nasıl çözebileceğini düşünür. Bu, dizinin her kitabındaki dramatik gerilim anıdır: Tom ve arkadaşları bu durumun üstesinden gelebilmek için nasıl bir dâhice düşünce geliştireceklerdi?[2] Bu öykülerden alınacak ders basitti: Doğru düşünce, ezici gibi görünen zorlukları yenme gücüne sahiptir.

Bugüne kadar şu basit felsefeye hep inandım: Karşılaştığımız güçlükler ne olursa olsun –iş sorunları, sağlık sorunları, ilişki sorunları ya da günümüzün büyük bilimsel, toplumsal, kültürel zorlukları– üstesinden gelmemizi sağlayacak bir düşünce mutlaka vardır. Dahası, o düşünceyi bulabiliriz. Bulduğumuz zaman onu uygulamamız gerekir. Benim yaşamımı biçimlendiren de bu buyruk oldu. Bir düşüncenin gücü; bu, başlı başına bir düşüncedir.

---

2 İlk olarak 1954 yılında Grosset ve Dunlap tarafından piyasaya çıkarılan ve bir yazarlar grubu tarafından Victor Appleton mahlasıyla hazırlanan Tom Swift Jr. dizisi 1971 yılına kadar yayımlandı. Genç bir delikanlı olan Tom Swift, arkadaşı Bud Barclay'le birlikte tüm evrende bir yerden diğerine koşarak, tuhaf yerleri keşfeder, kötü adamları alt eder, bu sırada ev büyüklüğünde bir uzay aracı, bir uzay istasyonu, uçan bir laboratuvar, devasa bir uçak, elektrikli bir hidrociğer, bir sualtı helikopteri ve bir iteç (maddeleri iten bir araç; örneğin su altında suyu iterek iki oğlanın içinde yaşayabilecekleri bir balon oluşturur) gibi egzotik aletler kullanırlar.
Dizinin ilk dokuz kitabı şunlardı: *Tom Swift and His Flying Lab* [*Tom Swift ve Uçan Laboratuvarı*] (1954), *Tom Swift and His Jetmarine* [*Tom Swift ve Denizaltı Jeti*] (1954), *Tom Swift and His Rocket Ship* [*Tom Swift ve Uzay Roketi*] (1954), *Tom Swift and His Giant Robot* [*Tom Swift ve Dev Robotu*] (1954), *Tom Swift and His Atomic Earth Blaster* [*Tom Swift ve Atomsal Patlatıcısı*] (1954), *Tom Swift and His Outpost in Space* [*Tom Swift ve Uzay Karakolu*] (1955), *Tom Swift and His Diving Seacopter* [*Tom Swift ve Dalışkopteri*] (1956), *Tom Swift in the Caves of Nuclear Power* [*Tom Swift Nükleer Güç Mağaralarında*] (1956) ve *Tom Swift on the Phantom Satellite* [*Tom Swift Fantom Uydud*a] (1956).

Tom Swift Jr. dizisini okuduğum sıralarda, büyükbabamın annemi de alıp terk etmiş olduğu Avrupa'ya, uzun bir müddet sonra geri dönüşünün ardından iki temel anıyla döndüğünü anımsıyorum. İlki, Avusturyalılardan ve Almanlardan, yani 1938 yılında onun kaçmak zorunda olduğu insanlardan gördüğü saygılı tavırdı. Diğeriyse, Leonardo da Vinci'nin orijinal el yazmalarından birine iki eliyle dokunabilmek gibi ender bir fırsatın ona verilmiş olmasıydı. Bu iki anı da beni etkilemişti, ama sonraları dönüp dönüp defalarca anımsadığım ikincisi oldu. Bu deneyimi derin bir saygıyla, sanki doğrudan Tanrı'nın bir yapıtına dokunmuş gibi anlatmıştı. İşte bu, o zamanlar içinde yetiştiğim dindi: İnsan yaratıcılığına ve düşüncelerin gücüne saygı.

1960 yılında, on iki yaşımdayken bilgisayarı keşfettim, dünyayı biçimlendirip yeniden yaratma yeteneğiyle büyülendim. Canal Caddesindeki ucuz elektronik eşya satan dükkânlarda dolanır (bu dükkânlar hâlâ durur!), kendi bilgisayar aygıtlarımı yapmak için parça toplardım. 1960'larda en az akranlarım kadar çağdaş müzik, kültür ve siyasi akımlarla uğraştığım gibi, çok daha bilinmez bir akımla, büyük "7000" serisinden (7070, 7074, 7090, 7094) tutun, fiilen ilk "mini bilgisayar" olan küçük 1620'ye kadar, IBM'in altmışlarda çıkardığı olağanüstü makineler serisiyle de uğraşıyordum. Makineler piyasaya birer yıl arayla çıkarılıyordu; her biri öncekinden daha ucuz, daha güçlüydü; bu bugün yakından bildiğimiz bir olgu. Bir IBM 1620 edinip önceleri istatistik analiz, sonraları giderek müzik bestelemek için programlar yazmaya başladım.

1968'de, o zamanlar New England Bölgesinin en güçlü bilgisayarı ve türünün en iyisi olan, bir milyon bayt (bir megabayt) gibi olağanüstü "çekirdek" belleğe, saniyede bir milyon komut (bir MIPS) gibi etkileyici hıza sahip, saati yalnızca bin dolardan kiralanan IBM 360/91'in bulunduğu, sıkı güvenlik altındaki o mağaramsı bölmeye girmeme izin verildiği zamanı hâlâ anımsarım. Lise öğrencilerini üniversitelere yerleştiren bir bilgisayar programı geliştirmiştim. Makine her öğrencinin başvurusunu işlerken ön paneldeki ışıkların kendine özgü bir düzenle dans edişini hayranlıkla izledim.[3] Kodun her satırını gayet iyi bildiğim halde,

3 Programın adı Select'ti. Öğrenciler, üç yüz maddelik bir soru formu doldururlardı. Üç bin fakülteye ait yaklaşık iki milyon parça bilgiden oluşan bir

çözümlenen her döngünün ardından bilgisayar ışıkları birkaç saniyeliğine karardığında bana sanki bilgisayar derin bir düşünceye dalıyormuş gibi gelirdi. Gerçekten de, elle on saatte ve daha yüksek hata payıyla yaptığımız işi, on saniyede pürüzsüz biçimde yapabiliyordu.

1970'lerde bir mucit olarak buluşlarımın, piyasaya sürüldüklerinde onları etkinleştirecek teknolojilerle ortaya çıkacak pazar güçleri açısından bir anlamı olması gerektiğini kavradım; çünkü bu, buluşların tasarımlandığı dünyadan çok farklı bir dünya olacaktı. Belirgin teknolojilerin –elektronik, iletişim, bilgisayar işlemcileri, bellek, manyetik bellek gibi– nasıl geliştiklerini ve bu değişimlerin etkilerinin piyasalara, giderek de toplumsal kurumlarımıza nasıl yayıldıklarını gösteren modeller geliştirmeye başladım. Çoğu buluşun, ARGE birimleri onları işletemediğinden değil, zamanlama yanlış olduğu için başarısız olduğunu fark ettim. İcat etmek sörf yapmaya çok benzer; dalgayı öngörüp, doğru anda yakalamanız gerekir.

Teknoloji akımlarına ve bu akımların doğurdukları sonuçlara olan ilgim, 1980'lerdeki yaşam tarzımı belirledi; kendi modellerimi kullanarak gelecekteki, 2000, 2010, 2020'de ve sonrasında ortaya çıkabilecek teknolojileri, icatları tahmin etmeye başladım. Bu, geleceğin eğilimlerini kurgulayıp tasarlayarak, geleceğin yetilerini icat etmeye başlamamı sağladı. 1980'lerin sonlarına doğru ilk kitabım *The Age of Intelligent Machines*'i [*Akıllı Makineler Çağı*] yazdım.[4] 1990'lar ve 2000'ler için kapsamlı (ve oldukça doğru) öngörüler içeren kitap, yirmi birinci yüzyılın ilk yarısında makinenin zekâsının, atası insanın zekâsından ayırt edilemez duruma gelişi karabasanıyla biter. Bu, dokunaklı bir son gibiydi; ne olursa

---

veri tabanı içeren bilgisayar yazılımı, her öğrenci için ilgi alanlarına, geçmişine ve akademik durumuna uyan altı ile on beş arasında okul seçerdi. Yaklaşık on bin öğrenciye ait bilgiyi işledikten sonra programı Harcourt, Brace and World Yayınevine sattık.

4 1990'da MIT Yayınlarından çıkan *The Age of Intelligent Machines*, Amerikan Yayıncılar Birliği tarafından En İyi Bilgisayar Bilimi Kitabı seçildi. Kitap, yapay zekânın gelişimini araştırarak zeki makinelerin bir dizi felsefi, toplumsal ve ekonomik etkilerini öngörür. Anlatı, Sherry Turkle, Douglas Hofstadter, Marvin Minsky, Seymour Papert ve George Gilder gibi düşünürlerin yapay zekâ üzerine yazdıkları yirmi üç makaleyle bütünlenmiştir. Metnin tamamı için *bkz.* http://www.KurzweilAI.net/aim.

olsun, kişisel olarak böylesine dönüştürücü bir sonucun ötesine bakmak zor geldi.

Geçen yirmi yıl içinde, önemli bir maddi düşünceyi, eş deyişle dünyayı dönüştürecek düşüncelerin gücünün de ivmelendiği düşüncesini kavramaya başladım. Böyle söyleniverdiğinde insanlar bu gözleme katılmaya hazır olsalar da, bu durumun derin sonuçlarını gerçekten değerlendirebilecek gözlemcilerin sayısı görece çok azdır. Önümüzdeki yirmi-otuz yıl içinde, çağlar boyu süregelen sorunların üstesinden gelebilmek için düşüncelerimizi uygulama fırsatını bulacağız; bu arada da birkaç yeni sorunu daha ortaya koyacağız.

1990'larda, bilgiye ilişkin tüm teknolojilerin bilinen ivmeleri hakkındaki deneysel verileri toplayıp, bu gözlemlerin altında yatan matematik modelleri geliştirmeye çalıştım. İvmelenen getiriler yasası olarak adlandırdığım, teknoloji ile evrimsel süreçlerin neden genelde katlanarak ilerlediğini açıklayan bir kuram geliştirdim.[5] 1998'de yazdığım *The Age of Spiritual Machines* [*Tinsel Makineler Çağı*] adlı kitapta, insan doğasının, makine ile insan düşüncesinin birbirine karıştığı noktanın ötesinde nasıl var olacağını dile getirmeye çalıştım. Aslında bu dönemi, devraldığımız biyolojik miras ile biyolojinin ötesine geçen gelecek arasında giderek artan yakın işbirliği olarak düşündüm.

The Age of Spiritual Machines'in yayımlanmasından bu yana uygarlığımızın geleceği ve bu geleceğin evrendeki yerimizle olan ilişkisi üzerine düşünmeye başladım. Zekâsı, bizim zekâmızın çok ilerisinde olan gelecekteki bir uygarlığın yeteneklerini tasarımlayabilmek zor gibi görünse de, zihnimizde gerçeklik modellerini canlandırabilme yeteneğimiz, biyolojik düşünme yeteneğimiz ile yaratmakta olduğumuz biyolojik olmayan zekâ arasındaki yaklaşan birleşmenin sonuçlarına dair anlamlı öngörüleri dile getirmemizi sağlamaktadır. İşte bu kitapta anlatmak istediğim öykü budur. Öykü, kendi zekâmızı anlama –dilerseniz, kendi kaynak kodumuza erişme de diyebiliriz– ve sonrasında onu gözden geçirip geliştirme yeteneğine sahip olduğumuz düşüncesine dayanır.

---

5 Yeterliliğin kilit ölçüleri (fiyat performansı, bant genişliği ve yeterlik gibi), doğrusal olarak birbirine eklenmeyip belli katsayılarla artar (yani, ölçümler her zaman dilimi için belli bir katsayıyla çarpılırlar).

Bazı gözlemciler kendi düşüncemizi anlayabilmek için kendi düşüncemizi uygulama yetisine sahip olup olmadığımızı sorgulamaktadırlar. Yapay zekâ üzerine çalışan araştırmacı Douglas Hofstadter'e göre: "Beyinlerimizin kendilerini anlamak için çok zayıf olmaları yalnızca yazgısal bir rastlantı olabilir. Örneğin, alt basamaklarda yer alan zürafayı düşünün. Belli ki beyni kendini anlamaya yetecek düzeyin çok altındadır, ama yine de bizim beynimize olağanüstü derecede benzerdir."[6] Bununla birlikte, beynimizin bazı bölümlerini –nöronları ve önemli nöron bölgelerini– örneklemeyi çoktan başardık; bu türden örneklerin karmaşıklığı da hızla artmakta. Bu kitapta ayrıntılı olarak tanımlayacağım önemli bir konu olan, insan beyni üzerine ters mühendislik çalışmalarında kaydettiğimiz ilerleme, gerçekten de, kendi zekâmızı anlama, örnekleme ve genişletme yeteneğimizin olduğunu göstermektedir. Bu, türümüzün benzersizliğinin bir yönüdür: Kendi zekâmız, sahip olduğumuz yeteneği yaratıcı gücün sonsuz zirvelerine çıkarabilmemiz için gerekli o hassas eşiğin ancak yetecek kadar üzerindedir; ayrıca, evreni kendi istemimize göre yönlendirebilmemiz için gerekli olan karşılayıcı bir uzvumuz (başparmağımız) vardır.

Sihir hakkında birkaç söz: Tom Swift Jr. kitaplarını okuduğum dönemde aynı zamanda gayretkeş bir sihirbazdım. İzleyicilerimin, gerçeğin apaçık bir biçimde olanaksıza dönüşmesini deneyimlemelerinin tadını çıkarıyordum. Onlu yaşlarımda salon sihirbazlığının yerine teknoloji projelerini koydum. Küçük sihirbazlık numaralarından farklı olarak, sırları açığa çıksa bile teknolojinin aşkın gücünü yitirmediğini keşfettim. Aklıma sıklıkla Arthur C. Clarke'ın, "yeterince gelişmiş herhangi bir teknoloji sihirden ayırt edilebilir olmadığını" söyleyen üçüncü yasası gelir.

J. K. Rowling'in *Harry Potter* öykülerini bu açıdan bir düşünün. Bu öyküler düş ürünü olabilir, ancak dünyamızın bundan yalnızca yirmi-otuz yıl sonra nasıl var olacağına ilişkin hiç de mantıksız olmayan öngörülerdir. Temelde Potter'ın tüm "büyüsü," bu kitapta araştıracağım teknolojiler sayesinde gerçekleşecektir. Potter kitaplarının hayali sporu "quidditch"i oynayıp insanları ve

6 Douglas R. Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid* (New York: Basic Books, 1979).

nesneleri başka biçimlere dönüştürmek, gerçeklikte olduğu kadar, nano ölçekte aygıtlar kullanılarak tam anlamıyla içine girilebilen sanal gerçeklik ortamlarında da mümkün olacaktır. Bu satırlarda, en azından bilgi parçacıkları için –temelde bizi oluşturan da budur– bir şeyler başarma yolunda (nedensellik paradokslarına yol açmadan) ciddi öneriler ortaya atılmış olsa da, daha belirsiz olan şey zamanın tersine çevrilmesidir (*Harry Potter ve Azkaban Tutsağı*'nda betimlendiği şekliyle) (*Bkz.* üçüncü bölümdeki bilgi işlemin sınırları üzerine tartışma).

Harry'nin, doğru sihirli sözcükleri söyleyerek büyüsünü salıverdiğini düşünün. Bu sihirli sözcükleri keşfedip uygulamak şüphesiz basit bir iş değildir. Harry ile arkadaşlarının bunların sırasını, yöntemini ve vurgusunu kesin bir doğrulukla uygulamaları gerekir. Bu süreç, teknoloji deneyimimizle tam olarak aynıdır. Bizim sihirli sözcüklerimiz, modern çağ büyüsünün temelinde yatan formüller ve algoritmalardır. Yalnızca doğru sıralamayla, bir bilgisayarın bir kitabı sesli okumasını, insan konuşmasını anlamasını, kalp krizini önceden görmesini (ve önlemesini) ya da borsaya endeksli bir holdingin hareketini öngörmesini sağlayabiliriz. Sihirli sözcükler çizgiden birazcık şaştığında, büyü ya büyük ölçüde zayıflar ya da hiç çalışmaz.

Bu eğretilemeye, Hogwart'da kullanılan çoğu sihirli sözcüğün kısa olduğuna, bu nedenle de, örneğin, modern bir yazılım programının koduna kıyasla fazla bilgi içermediğine işaret ederek karşı çıkmak mümkün. Ancak modern teknolojinin temel yöntemleri genellikle aynı kısalıktadır. Konuşma tanıma gibi ileri yazılımların işleyiş ilkelerini yalnızca birkaç sayfa formülle yazmak mümkündür. Önemli bir ilerleme çoğu zaman, yalnızca tek bir formülde küçücük bir değişiklik yapma meselesidir.

Aynı gözlem, biyolojik evrim "buluşları" için de geçerlidir: Örneğin, şempanzeler ile insanlar arasındaki genetik farklılıkların yalnızca birkaç yüz bin baytlık bilgiden ibaret olduğunu düşünün. Şempanzeler bazı düşünsel becerilere sahip olmakla birlikte, genlerimizdeki o küçücük fark, bizim türümüzün teknolojinin büyüsünü yaratması için yeterli olmuştur.

Muriel Rukeyser, "Evren öykülerden oluşmuştur, atomlardan değil," der. Yedinci bölümde kendimi "örüntücü," eş deyişle bilgi

örüntülerini temel gerçeklik olarak gören biri olarak tanımlıyorum. Örneğin, beynimi ve gövdemi oluşturan parçacıklar birkaç haftada bir değişir, ancak bu parçacıkların oluşturduğu örüntüler süreklilige sahiptir. Bir öykü, bir anlamlı bilgi örüntüsü olarak değerlendirilebilir; dolayısıyla Muriel Rukeyser'in özdeyişini bu açıdan yorumlayabiliriz. Sonuç olarak bu kitap, Tekillik olarak adlandırdığımız bir yazgının, insan–makine uygarlığının yazgısının öyküsüdür.

Birinci Bölüm

ALTI EVRE

Herkes, kendi görüşünün sınırlarını dünyanın sınırları olarak kabul eder.

—Arthur Schopenhauer

Tekilliğin farkına ilk ne zaman vardığımdan emin değilim. Bunun ilerici bir uyanış olduğunu belirtmeliyim. Bilgisayar teknolojisiyle bağlantılı teknolojilerle uğraştığım neredeyse yarım yüzyıllık sürede, farklı düzeylerde tanık olduğum sürekli çalkantıların anlam ve amacını kavramaya çalıştım. Zaman içinde, yirmi birinci yüzyılın ilk yarısında belli belirsiz seçilebilen dönüştürücü bir olayın varlığının bilincine vardım. Tıpkı uzaydaki bir kara deliğin, olay ufkuna doğru ivmelenen madde ve enerjinin örüntülerini çarpıcı biçimde değiştirmesi gibi, geleceğimizin kapısında duran bu Tekillik de, cinsellikten tinselliğe, insan yaşamının her yönünü, her kurumunu giderek artan bir biçimde dönüştürmektedir.

O halde Tekillik nedir? Teknolojik değişim hızının, insan yaşamını geri dönülmez biçimde dönüştürecek kadar yüksek olacağı, değişimin etkilerinin de bir o kadar derinleşeceği, geleceğe ait bir dönemdir. Ütopik de distopik de olmadığı halde, bu evre, iş modellerimizden insanın yaşam döngüsüne, hatta ölüme kadar, yaşamımızı anlamlı kılmak için bel bağladığımız kavramları dönüştürecektir. Tekilliği kavramak, geçmişimize verdiğimiz anlama ve gelecekte bizi beklediğini düşündüğümüz sonuçlara bakışımızı

değiştirecektir. Tekilliği gerçekten, içselleştirerek anlamak, kişinin genel olarak yaşama bakışını, özeldeyse kendi yaşamını değiştirir. Tekilliği kavramış ve Tekilliğin kendi yaşamına yansımaları üzerine düşünmüş birisini "tekilci" olarak görüyorum.[1]

Birçok gözlemcinin, benim ivmelenen getiriler yasası olarak adlandırdığım şeyin (teknolojik evrimin biyolojik evrimin bir devamı olduğu evrim sürecinin hızındaki doğal ivme) açıkça ortada olan yansımalarını neden hemen kucaklamaya gönüllü olmadığını anlayabiliyorum. Ne de olsa, hemen önümde duran şeyin ne olduğunu görebilmem kırk yılımı aldı, tüm sonuçlarından tam olarak hoşnut olduğumu da hâlâ söyleyemem.

Kapımızdaki Tekilliğin altında yatan kilit düşünce, insanın yarattığı teknolojinin değişim hızının ivme kazandığı, bu teknolojinin sahip olduğu güçlerin de üstel büyüme gösterdiği düşüncesidir. Üstel büyüme yanıltıcıdır. Neredeyse fark edilmeden başlar, sonra beklenmedik –eğer dikkat edilip, yörüngesi izlenmezse, beklenmedik– bir şiddetle patlar (*bkz.* "Doğrusala Karşı Üstel Büyüme" grafiği).

Şöyle bir örneği düşünelim: Bahçesinde gölü olan bir adam, evde kalıp göldeki balıklarına bakmak, birkaç gün içinde iki kat çoğaldığı söylenen nilüfer yapraklarının gölü kaplamasını engelle-

---

1 Transtopia sitesine göre (http://transtopia.org/faq.html#1.11), "Tekilci" sözcüğü "ilk olarak Mark Plus ('91) tarafından, 'Tekillik kavramına inanan kişi' anlamında tanımlanmıştır. Bu terimin bir diğer tanımı, " 'Tekillik eylemcisi' ya da 'Tekillik dostu'; yani bir Tekilliği gerçekleştirmek için eyleme geçen kişidir [Mark Plus, 1991; Singularitarian Principles, Eliezer Yudkowsky, 2000]." Bu tanım üzerinde evrensel fikir birliği yoktur. Birçok Transhümanist, hâlâ orijinal anlamıyla –yani, "eylemci" ya da "dost" olmaktan çok "Tekilcilik kavramına inananlar" olarak– Tekilci'dir.

Singularitarian Principles'ın 1.0.2 sürümünde (1 Ocak 2000), http://yudkowsky.net/sing/principles.ext.html, Eliezer S. Yudkowsky, farklı bir tanım önerir: "Tekilci, insanınkinden büyük bir zekânın teknolojik olarak yaratılmasının arzu edilir olduğuna inanan ve bu yönde çalışan kişidir. Tekilci, Tekillik olarak bilinen geleceğin dostu, yandaşı, savunucusu ve temsilcisidir."

Benim görüşüm: Tekillik geliştirilebilir, özellikle de bilginin yapıcı gelişimini birçok yönden ve insan söyleminin çeşitli alanlarında –örneğin, demokrasiyi geliştirmek, totaliter ve köktenci inanç sistemleri ve ideolojilerle mücadele etmek, bilgiyi müzik, sanat, edebiyat ve teknoloji gibi tüm farklı biçimleriyle yaratmak– temsil etmesi sağlanabilir. Tekilci kişiyi, bu yüzyılda gerçekleşen dönüşümleri kavrayan ve bu dönüşümlerin kendi yaşamındaki anlamları üzerinde düşünmüş olan kişi olarak görüyorum.

mek ister. Aylar geçer, adam sabırla bekler, ama nilüfer yaprakları göl yüzeyinde sadece minik lekeler halinde seçilebilmekte, bunlar da belirgin biçimde büyümemektedir. Nilüfer yaprakları göl yüzeyinin yüzde 1'inden az bir bölümünü kapladığı için adam tatile gitmekte sakınca görmez, ailesiyle birlikte yola çıkar. Birkaç hafta sonra döndüğünde, göl yüzeyinin tamamen yaprakla kaplandığını, balıkların da telef olduğunu görerek şaşkına döner. Nilüfer yapraklarının sayısının birkaç günde bir iki katına çıkmasıyla, yaprakların sayılarının ikiye katlandığı son yedi çoğalma, nilüfer yapraklarının gölün tüm yüzeyini kaplamasına yetmiştir. (Sayıları yedi kere ikiye katlandığında erimleri, yani yayılarak kapladıkları alan 128 katına çıkmıştır.) Üstel büyümenin doğası budur.

Bilgisayarlı satrancın 1992'deki acıklı halini küçümseyen Gary Kasparov'u düşünün. Bilgisayarın gücünün her yıl sürekli katlanması, bir bilgisayarın Kasparov'u yalnızca beş yıl sonra yenebilmesini sağladı.[2] Bilgisayarların insanın yeteneklerinin ötesine geçtiği durumların listesi hızla uzamaktadır. Dahası, bilgisayar zekâsının bir zamanlar dar olan uygulamaları, bir etkinlik alanından diğerine, giderek genişlemektedir. Örneğin, bilgisayarlar elektrokardiyogram ve tıbbi görüntülere tanı koyabiliyor, uçakları uçurup indirebiliyor, otomatik silahların taktik kararlarını kontrol edebiliyor, kredi ve finans kararları verebiliyor, daha önce insanın zekâsını gerektiren başka birçok işin sorumluluğunu yükleniyorlar. Bu sistemlerin başarısı, yapay zekâ türlerinin bütünleştirilmesine giderek daha fazla dayanmaktadır. Ancak kuşkucular, çalışılan alanların herhangi birinde yapay zekânın bir kusuru ortaya çıktığında, insanın, kendi yaratılarının yetenekleri karşısındaki değişmez üstünlüğünü vurgulamak için bu alanlara dikkati çekeceklerdir.

Bu kitap, yine de, bilgi tabanlı teknolojilerin birkaç on yıl içinde tüm insani bilgi ve becerileri kapsayacağını ve sonunda,

---

2 Bilgi işlemin katlanma hızlarını gelecek bölümde inceleyeceğiz. Birim başına düşen transistör maliyeti her iki yılda bir ikiye katlanmış da olsa, transistörler önemli ölçüde hızlanmış, birçok başka düzeyde yenilik ve gelişme ortaya çıkmıştır. Son dönemde, bilgisayarlı işlemin toplam gücünün birim maliyeti yılda iki katına çıkmıştır. Özellikle bir bilgisayarlı satranç makinesinin kullanabileceği hesap miktarı (bir saniyedeki hesaplama hızı) 1990'larda her yıl ikiye katlanmıştır.

giderek insan beynine özgü örüntü tanıma güçleri, sorun çözme becerileri ile duygusal ve etik zekâyı da içereceğini savunacaktır.

Birçok bakımdan etkileyici olmasına karşın, beyin ciddi kısıtlamalara tabidir. İnce örüntüleri hızla tanımak için beynin yoğun paralelliğini (nöronlar arasında aynı anda çalışan yüz trilyon bağlantı) kullanırız. Ancak düşünmemiz son derece yavaştır: Temel sinirsel hareketler, çağdaş elektronik devrelerden birkaç milyon kere daha yavaştır. Bu da, bizim yeni bilgileri işlemek için kullandığımız fizyolojik bant genişliğini, insanın sahip olduğu tüm bilgi tabanının üstel büyümesine kıyasla son derece kısıtlı kılmaktadır.

Bizim 1.0 sürüm biyolojik bedenlerimiz de aynı şekilde dayanıksızdır; gereksindikleri sıkıcı, koruyucu bakım ritüelleri bir yana, sayısız türden hataya tabidir. İnsan zekâsı zaman zaman yaratıcılığının ve ifade gücünün doruklarına ulaşabilse de, insan düşüncesi büyük ölçüde türetilmiştir, ikincil ve sınırlıdır.

Tekillik, biyolojik bedenlerimiz ve beyinlerimizin söz konusu kısıtlamalarını aşmamızı sağlayacak. Yazgımıza karşı güç kazanacağız. Ölümlülüğümüz kendi elimizde olacak. Dilediğimiz kadar yaşayabileceğiz (bu, sonsuza kadar yaşayabileceğimizi söylemekten biraz farklıdır). İnsan düşüncesini tam olarak anlayacak, kapsamını büyük çapta açıp genişleteceğiz. Zekâmızın biyolojik olmayan bölümü, bu yüzyılın sonunda salt insan zekâsından trilyon kere trilyon kat daha güçlü olacak.

Şu anda bu geçişin ilk aşamalarındayız. Hem paradigma değişiminin ivmesi (temel teknik yaklaşımları değiştirme hızımız) hem de bilgi teknolojisinin kapasitesinin üstel büyümesi, üstel büyüme eğiliminin fark edilir olmaya başladığı aşamaya, yani "eğrinin dirseğine" yaklaşmaya başlamıştır. Bu aşamadan hemen sonra, yükseliş eğilimi patlayabilecek noktaya hızla gelir. Kendimizden ayırmamızın mümkün olmayacağı teknolojimizin büyüme hızları bu yüzyılın ortasına gelmeden, gerçekten dikeymiş gibi görünecek derecede dik hale gelecektir. Katı matematiksel bir bakışla değerlendirildiğinde, büyüme hızları yine sonlu olacaktır, ancak öyle uç noktalara varacaktır ki, getirdikleri değişimler, insanlık tarihinden bir kopuş izlenimi uyandıracaktır. En azından, gelişmemiş biyolojik insanlığın bakışı bu olacaktır.

Tekillik, biyolojik düşüncemiz ve varlığımız ile teknolojimizin birleşmesinin doruğunu temsil edecek, yine insani olan ama bi-

yolojik köklerimizin ötesine geçen bir dünyayla sonuçlanacaktır. Tekillik sonrasında, insan ile makine ya da fiziksel olan ile sanal gerçeklik arasında ayrım olmayacaktır. Bu türden bir dünyada, tartışmasız 'insan' olan neyin kalacağını merak ederseniz, bu, tek bir niteliktir, o da bizim türümüze özgü bir nitelik olan, fiziksel ve zihinsel erimini şimdilerdeki kısıtlamalarının ötesine geçirerek genişletme arzusudur.

Bu değişimler üzerine yorum yapan birçok kişi, bu geçiş sonucunda insanlığımızın can alıcı bazı yönlerinin kayboluşu olarak algıladıkları şeye odaklanmaktadır. Ancak bu bakış açısı, teknolojimizin neye dönüşeceği hakkındaki bir yanlış anlamadan kaynaklanır. Bugüne kadar karşılaştığımız tüm makineler, insanın sahip olduğu biyolojik niteliklerin temel inceliğinden yoksundur. Tekilliğin her ne kadar birçok yüzü olsa da, çıkarılacak en önemli anlam şudur: Teknolojimiz, insani özelliklerin en iyisi olarak gördüğümüz şeyin mükemmelliğini ve esnekliğin karşılayabilir hale gelebilecek, sonra da bunun çok ötesine geçecektir.

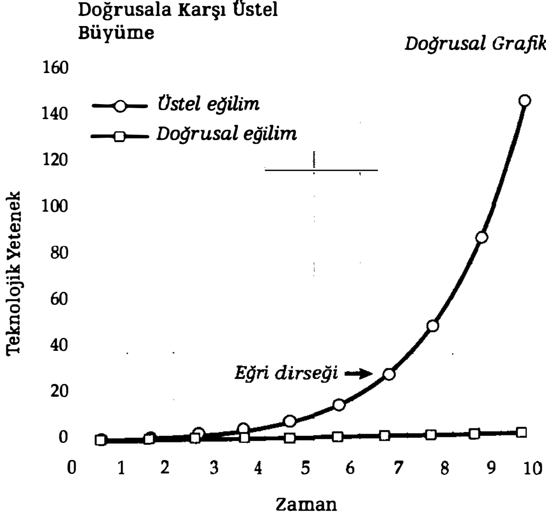
Sezgiye Dayalı Doğrusal Bakış ve Tarihe Dayalı Üstel Bakış

> İlk insan ötesi zekâ yaratılıp, ardından da özyinelemeli bir gelişim sürecine girdiğinde, benzerlerini öngörmeye bile başlayamayacağım temel bir kopukluğun oluşması mümkündür.
>
> —Michael Anissimov

1950'lerde, efsanevi bilgi kuramcısı John von Neumann'ın, "Teknolojinin durmaksızın ivmelenen ilerlemesi ... türler tarihinde, toplumsal yaşamın bildiğimiz biçimiyle devam edemeyeceği bir tür temel tekilliğe doğru yaklaşıyor gibi görünmektedir," dediği aktarılır.[3] Von Neumann burada iki önemli gözlemde bulunmak-

3 Stanislaw Ulam'ın sözcükleriyle John von Neumann, "Tribute to John von Neumann," *Bulletin of the American Mathematical Society* 64.3, 2. bölüm (Mayıs 1958): 1-49. Von Neumann (1903-1957) Budapeşte'de Musevi bir banker ailenin oğlu olarak dünyaya geldi. 1930'da matematik dersleri vermek üzere Princeton Üniversitesine gitti. 1933 yılında, yeni kurulan Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsünün ilk altı profesöründen biri oldu ve yaşamının sonuna kadar burada kaldı. İlgi alanları çok geniş kapsamlıdır: Von Neumann, kuantum mekaniğinin yeni alanını tanımlayan temel güç olmuş; Oskar Morgenstern'le bir-

tadır: *İvme* ve *tekillik*. Birinci düşünce, insan gelişiminin doğrusal (yani, sürekli olarak bir sabitle *toplanarak* gelişen) değil, üstel (yani, sürekli olarak bir sabitle *çarpılarak* gelişen) olduğudur.



Doğrusal ve üstel: Doğrusal büyüme sabittir; üstsel büyüme patlayıcı hâle gelir.

İkincisi ise, üstel büyüme karşı konulmazdır; yavaşça, neredeyse fark edilmeyecek şekilde başlar, ama eğri dirseğinin ötesinde patlayıcı ve son derece dönüştürücü bir hal alır. Gelecek yaygın olarak yanlış anlaşılmıştır. Atalarımız, geleceğin onların gününe oldukça benzeyeceğini düşünüyorlardı; onların bugünü

likte ekonomi araştırmalarını değiştiren bir metin olan *Theory of Games and Economic Behavior*'ı yazmış; 1930'ların sonlarında MANIAC'ı (Matematiksel Analizci, Sayısal Entegratör ve Bilgisayar) yapmak dahil, ilk bilgisayarların mantıksal tasarımına önemli katkılarda bulunmuştur.

Ölümünün ardından *Economic Journal*'da yazdığı "John von Neumann 1903–1957" (Mart 1958: 174) başlıklı yazıda Oskar Morgenstern, John von Neumann'ı şöyle betimlemiştir: "Von Neumann'ın kişisel ilişkide olduğu diğer insanların düşünceleri üzerinde görülmemiş ölçüde büyük etkisi olurdu.... Engin bilgisi, hemen karşılık vermesi, eşi görülmemiş sezgisiyle ziyaretçilerini hayran bırakırdı. Çoğu zaman, daha onlar anlatmayı bitirmeden problemlerini çözmüş olurdu. Öylesine benzersiz bir akıldı ki bazı insanlar -kendileri de seçkin bilim insanları olan kişiler- kendilerine onun insanın zihinsel gelişimindeki yeni bir evreyi temsil edip etmediğini sormuşlardır."

de geçmişlerine çok benzerdi. Üstel eğilimler bundan bin yıl önce de vardı; ancak çok düz ve yavaş olan o çok erken evrede olduklarından eğilim gibi görünmemişlerdir. Sonuçta, gözlemcilerin değişmeyen bir gelecek beklentileri karşılanmıştır. Bugün, sürekli teknolojik ilerleme ile bu ilerlemelerin toplumsal yansımalarını öngörüyoruz. Ama gelecek, çoğu insanın farkında olduğunun çok ötesinde şaşırtıcı olacaktır, çünkü çok az sayıda gözlemci, değişim hızının bizzat kendisinin ivmelendiği gerçeğinin göstergelerini gerçek anlamda içselleştirmiştir.

Gelecekteki zaman dilimlerinde teknik olarak mümkün olanlara ilişkin uzun vadeli çoğu öngörü, gelecekteki gelişmelerin gücünü çok hafife almaktadır; çünkü bu öngörüler, "tarihe dayalı üstel" bakışa değil, benim "sezgiye dayalı doğrusal" olarak adlandırdığım tarih bakışına dayanır. Bundan sonraki bölümde anlatacağım gibi, modellerim, paradigma değişim hızını her on yılda bir ikiye katladığımızı göstermektedir. Yirminci yüzyıl, bugünün ilerleme temposuna doğru hızlanarak yaklaşmış; 2000 yılının ilerleme hızına göre yirmi yıllık bir ilerlemeye eşdeğer başarı sağlamıştır. Yalnızca on dört yıl içinde (2014 yılına kadar) yirmi yıllık bir ilerleme daha kaydedeceğiz, sonra aynı ilerlemeyi yalnızca yedi yılda kaydedeceğiz. Bunu başka bir biçimde ifade etmek gerekirse, yirmi birinci yüzyılda yaşayacağımız, yüzyıllık bir teknolojik ilerleme olmayacak; yaklaşık yirmi bin yıllık ilerlemeye (yine *bugünün* ilerleme hızıyla ölçüldüğünde) ya da yirminci yüzyılda kaydedilen ilerlemenin bin katı ilerlemeye tanık olacağız.[4]

Geleceğin biçimi konusunda yanlış algılar sık sık ve farklı bağlamlarda ortaya çıkmaktadır. Birçok örnekten biri, yakın geçmişte gerçekleşen, benim de katıldığım, moleküler üretimin yapılabilirliği üzerine bir tartışmada Nobel Ödüllü bir panelistin, nano teknolojilerle ilgili güvenlik konularını bir yana bırakarak, "kendiliğinden kopyalanan nano mühendislik ürünü varlıkları [teker teker molekül parçacıklarıyla yapılmış aygıtlar] daha yüz yıl görmeyeceğimizi" duyurmasıdır. Yüz yılın makul bir tahmin olduğunu ve aslında, *bugünün ilerleme hızıyla* ölçüldüğünde (yirminci yüzyılda gördüğümüz ortalama değişim hızının beş katı) tam bu dönüm noktasına ulaşmak için gereken teknik ilerleme miktarı-

4 *Bkz.* İkinci bölümde 20. ve 21. notlar.

na biçtiğim değere denk geldiğini belirttim. Ancak, her on yılda bir ilerleme hızını ikiye katladığımız için, yüz yılda yaşadığımıza eşdeğer ilerlemeyi *-bugünün hızıyla-* yalnızca yirmi beş takvim yılında göreceğiz.

Benzer biçimde, *Time* dergisinin, DNA yapısının ortaya çıkarılışının ellinci yıldönümünü kutlamak amacıyla 2003 yılında gerçekleştirdiği Yaşamın Geleceği konferansında, tüm davetli konuşmacılara önümüzdeki elli yılın nasıl olacağını düşündükleri soruldu.[5] Hemen hemen her konuşmacı, son elli yılın ilerlemesine bakıp, bu ilerlemeyi gelecek elli yıl için model olarak kullandı. Örneğin, DNA'yı keşfedenlerden biri olan James Watson, elli yıl içinde, kilo almadan dilediğimizi yiyebilmemizi sağlayacak ilaçlara sahip olacağımızı söyledi.

"Elli yıl mı?" diye yanıtladım. Farelerde yağ hücrelerindeki yağın depolanışını kontrol eden yağ insülin reseptörü genini bloke ederek bunu zaten başardık. İnsanların kullanımına yönelik (RNA engellemesi ve beşinci bölümde tartışacağımız diğer tekniklerin kullanıldığı) ilaçlar bugün geliştirilmektedir, birkaç yıl içinde de Amerikan Gıda ve İlaç Kurumunun test konuları arasına girecektir. Bunlar beş ile on yıla kadar piyasada olacaktır, elli değil. Diğer tahminler de aynı şekilde öngörüsüz, önümüzdeki yarım yüzyılın getireceği büyük değişiklikler yerine bugünün araştırma önceliklerini yansıtan tahminlerdi. Sekizinci bölümde anlatacağım gibi, her ne kadar değişimlerin ifade ettikleri konusunda aynı düşüncede olmasak da, bu konferanstaki bütün düşünürler arasında geleceğin üstel doğasını dikkate alan bir tek Bill Joy ile ben vardık.

İnsanlar sezgisel olarak, var olan ilerleme hızının gelecek dönemlerde de süregeleceğini kabul ediyorlar. Değişimin temposunun zaman içinde nasıl arttığını görecek kadar yaşamış kişiler için bile, irdelenmemiş sezgi, insanda, değişimin en son dönemde tanık olduğuyla aynı hızda gerçekleştiği izlenimini bırakır. Matematikçi bakışına göre bunun nedeni, yalnızca kısa bir zaman diliminde incelendiğinde üstel eğrinin düz bir çizgi gibi görünme-

---

5 Konferans, 19-21 Şubat 2003 tarihlerinde Monterey, California'da yapıldı. Ele alınan konulardan bazıları kök hücre araştırmaları, biyoteknoloji, nano teknoloji, klonlama ve genetik yapısı değiştirilmiş gıdaydı. Konferans konuşmacılarının önerdikleri kitapların listesi için *bkz.* http://www.thefutureoflife.com/books.htm.

sidir. Sonuçta, genelde donanımlı yorumcular bile geleceğe ilişkin değerlendirmelerinde sonraki on yıl ya da yüz yıllık değişimi belirlerken o andaki değişim hızını kullanırlar. Geleceğe bu tür bakışı "sezgiye dayalı doğrusal" bakış olarak nitelememin nedeni budur.

Ancak teknoloji tarihinin ciddi bir değerlendirmesi, teknolojik gelişmenin üstel olduğunu ortaya koyar. Üstel gelişme, herhangi bir evrim sürecinin özelliğidir, teknoloji ise bu tür evrim sürecinin başlıca örneklerindendir. Farklı yöntemlerle, farklı zaman ölçeklerinde ve elektronikten biyolojik olanlara kadar çok çeşitli teknolojiler için, hatta insan bilgisinin miktarından ekonominin büyüklüğüne kadar düşündürdükleri açısından verileri inceleyebilirsiniz. İlerlemenin ve büyümenin ivmesi bunların her biri için geçerlidir. Gerçekten de, çoğu zaman yalnızca üstel büyüme değil, "çift" üstel büyümeyi de görürüz, üstel büyümenin hızının (yani üssün) kendisi üstel olarak büyümektedir (örneğin, *bkz.* bir sonraki bölümdeki bilgisayarlı hesaplamanın fiyat performansı üzerine tartışma).

Birçok bilim insanı ve mühendis, benim "bilim insanının karamsarlığı" olarak adlandırdığım şeye sahiptir. Çoğu zaman, kendilerini, üstesinden gelmeleri gereken çağdaş bir konunun zorluk ve karmaşık ayrıntılarına öylesine kaptırırlar ki, kendi çalışmalarının ve içinde çalıştıkları daha geniş alanın uzun vadeli sonuçlarını değerlendirmeği dikkate almazlar. Benzer biçimde, her yeni kuşak teknolojiyle birlikte edinebilecekleri çok daha güçlü araçları da gözden kaçırırlar.

Bilim insanları kuşkucu olacak, güncel araştırma hedefleri üzerine dikkatli konuşacak ve ancak ender durumlarda bilimsel arayışın o günkü oluşumlarının ötesinde değerlendirme yapacak şekilde yetiştirilirler. Bir bilim ve teknoloji kuşağının bir insan kuşağından uzun ömürlü olduğu durumlarda bu, yeterli bir yaklaşım olabilir ama artık bilimsel ve teknolojik ilerlemenin bir kuşağı ancak birkaç yıl sürdüğüne göre, bu yaklaşım artık toplumun çıkarlarına hizmet etmemektedir.

1990 yılında, on beş yıl gibi kısa bir sürede tüm bir insan genomunun şifresinin çözülmesi hedefinden kuşku duyan biyokimyacıları düşünün. Bu bilim insanları, tam bir yılı yalnızca geno-

mun on binde birinin şifresinin çözülmesi için harcadılar. Yani, en akla yatkın ilerleme öngörüleriyle bile, tüm bir genomun dizi çözümlemesinin, daha da uzun değilse bile, en azından yüz yıl sürecek gibi görünmesi onlara doğal göründü.

Ya da 1980'li yılların ortalarında internetin önemli bir olgu olup olamayacağı konusunda dile getirilen kuşkuları düşünün; kaldı ki o dönemde, internet yalnızca on binlerce düğümü (sunucu olarak da bilinir) kapsıyordu. Aslında, düğüm sayısı her yıl ikiye katlanıyordu; dolayısıyla, on yıl sonra on milyonlarca düğümün olması akla yatkındı. Ancak bu eğilim, tek bir yılda dünya çapında yalnızca birkaç bin düğümün eklenmesine izin veren 1985 yılının en ileri teknolojisiyle uğraşanlar tarafından benimsenmedi.[6]

Bunun karşıtı bir kavramsal hata, uygun büyüme hızı modellenmeden, üstel büyümeyle ilgili belli olguların öncelikle fark edilmesi ve fazlasıyla saldırgan bir tavırla uygulanmasıyla ortaya çıkar. Üstel büyüme zaman içinde hız kazanmakla birlikte bir anda oluşuvermez. "internet balonu" ve bununla ilişkili telekomünikasyon balonu dönemlerinde (1997–2000) ortaya çıkan sermaye değerlerindeki (yani borsa fiyatlarındaki) ani yükseliş, üstel büyümenin bile akla yatkın herhangi bir beklentisinin çok ötesindeydi. Sonraki bölümde göstereceğim gibi, internetin ve e–ticaretin gerçek anlamda benimsenmesi, hem ani yükseliş hem de düşüş yoluyla düz bir üstel büyüme göstermiş; bu büyümeden beslenen gayretkeş beklentiler yalnızca sermaye (borsa) değerlemelerini etkilemiştir. Daha önceki paradigma değişimlerinde –örneğin, demiryolu çağının ilk dönemlerinde (1830'lar), internette yaşanan ani yükseliş ve düşüşün eşdeğerinin demiryollarını genişletme çılgınlığına yol açtığında olduğu gibi– benzer yanlışlarla karşılaşmıştık.

Kehanette bulunanların düştüğü bir diğer yanılgıysa, ortaya çıkacak dönüşümleri, başka hiçbir şey değişmeyecekmiş gibi, bu-

6 Düğüm (sunucu) sayısıyla ölçülen internet, 1980'lerde her yıl iki kat büyüyordu, ama 1985 yılında yalnızca birkaç on bin düğümü kapsıyordu. 1995 yılına gelindiğinde bu sayı birkaç on milyon düğüme yükseldi. 2003 yılının Ocak ayına gelindiğinde ise İnternet Yazılım Konsorsiyumu (http://www.isc.org/ds/host-count-history.html), 172 milyon web host, yani web sitesi barındıran sunucu saydı. Bu rakam, toplam düğüm sayısının yalnızca bir alt kümesini temsil etmektedir.

günün dünyasındaki tek bir eğilimin sonucu olarak ele almalarıdır. İyi bir örnek, yaşam süresinin radikal biçimde uzamasının nüfus fazlalığına, dolayısıyla insanın yaşamını sürdürmek için gereksindiği sınırlı malzeme kaynaklarının tükenmesine yol açacağı kaygısıdır; ancak bu kaygı da, nano teknoloji ile güçlü yapay zekânın aynı oranda sağlayacağı radikal zenginliği göz ardı etmektedir. Örneğin, nano teknoloji tabanlı üretim aygıtları 2020'li yıllarda, hemen hemen her tür fiziksel ürünü pahalı olmayan hammadde ve bilgilerden oluşturma yeteneğine sahip olacaklar.

Doğrusalın karşısına üstel büyümeyi koyan bakış açısını vurgulamamın nedeni, bunun, gelecekteki eğilimleri ele alarak kehanette bulunanların en önemli eksikliği olmasıdır. Teknoloji üzerine yapılan çoğu öngörü ve öngörülerde bulunanlar, teknolojik ilerlemenin bu tarihsel üstel görünümünü bütünüyle göz ardı ederler. Gerçekten de, karşılaştığım insanların neredeyse tümü, geleceğe yönelik doğrusal bir bakışa sahipler. İnsanlar, işte bu nedenle (üstel büyüme göz ardı edildiği için), kısa dönemde başarılabilecek şeyleri büyütüp (gerekli ayrıntıları dışladığımız için), uzun dönemde başarılacakları azımsamaktadırlar.

Altı Evre

> Önce biz araçları yaratırız, sonra da onlar bizi.
>
> —Marshall McLuhan

> Gelecek artık eskisi gibi değil.
>
> —Yogi Berra

Evrim, yükselen bir düzenle örüntü oluşması sürecidir. Düzen kavramını sonraki bölümde irdeleyeceğim; bu bölüm, örüntü kavramına odaklanacaktır. Dünyamızın nihai öyküsünü oluşturan şeyin, örüntülerin evrimi olduğuna inanıyorum. Evrim, dolaylı yoldan işler: Her aşama ya da evre, bir sonrakini oluşturmak için kendinden önceki evrenin bilgi işleme yöntemlerini kullanır. Evrimin –biyolojik ve teknolojik– tarihinin altı evrede oluştuğunu düşünüyorum. İrdeleyeceğimiz gibi, Tekillik Beşinci Evreyle başlayıp Altıncı Evrede Yeryüzünden evrenin geri kalanına yayılacaktır.

Birinci Evre: Fizik ve Kimya. Köklerimizi, bilginin en temel yapılarıyla temsil edildiği duruma, madde ve enerji örüntülerine kadar izleyebiliyoruz. Yakın geçmişte ortaya atılan kuantum kütleçekim kuramları, zaman ve uzayın ayrık kuantum parçacıklarına, yani temel olarak bilgi kırıntılarına bölündüğü düşüncesini benimser. En son noktada, madde ve enerjinin doğasının sayısal mı yoksa analog mu olduğu konusunda anlaşmazlık vardır, ancak bu konunun nasıl çözümlendiği bir yana, atom yapılarının ayrık bilgileri sakladıkları ve temsil ettikleri bilinmektedir.

Büyük Patlamadan birkaç yüz bin yıl sonra, elektronların, protonlar ile nötronlardan oluşan çekirdeğin etrafındaki yörüngede tutulmasıyla atomlar oluşmaya başladı. Atomlar, elektrikli yapıları nedeniyle "yapışkanlaştılar." Birkaç milyon yıl sonra atomların birleşerek molekül denilen görece kararlı yapıları oluşturmasından kimya doğdu. Karbon, tüm elementler arasında en değişken element olarak öne çıkar; dört yönde bağ kurabilir (diğer birçok element bir ile üç arası bağ kurar), karmaşık, bilgi yönünden zengin, üç boyutlu yapılar oluşturabilir.

Evrenimizin kuralları ile temel kuvvetler arasındaki etkileşimi yöneten fizik sabitlerinin dengesi, bilginin düzenlenmesine ve (artan karmaşıklıkla sonuçlanarak) evrilmesine incelikle ve tam olarak o denli uygundur ki, insan, böylesine olanaksız görünen bir durumun nasıl oluştuğunu merak eder. Kimisinin tanrısal bir elin varlığını gördüğü yerde kimisi kendi ellerimizi –yani bu soruları, ancak bizim evrilmemize izin veren bir evrende sorabileceğimiz düşüncesini benimseyen antropik ilkeyi– görür.[7] Çoklu evrenler

---

7 Antropik (insancı) ilke, en geniş anlamda, fiziğin temel sabitlerinin bizim varlığımızla uyumlu olması gerektiğini söyler; uyumlu olmasalardı burada bulunup onları gözlemleyemezdik. İlkenin gelişiminin katalizörlerinden biri, çekim sabiti ve elektromanyetik eşleşme sabiti gibi sabitlerin incelenmesidir. Eğer bu sabitlerin değerleri çok dar bir aralığın ötesine geçip uzaklaşsaydı, bulunduğumuz evrende zeki yaşam mümkün olmazdı. Örneğin, elektromanyetik eşleşme sabiti daha güçlü olsaydı, elektronlar ile diğer atomlar arasında bağ oluşmazdı. Daha zayıf olsaydı, elektronlar yörüngede tutulamazdı. Bir başka deyişle, bu tek bir sabit yerinden ayrılarak son derece dar bir aralığın dışına çıksaydı, moleküller oluşmazdı. Bu durumda, insancı ilkenin yandaşlarına göre evrenimiz, zeki yaşamın evrimine göre incelikle ayarlanmıştır. (Victor Stenger gibi bunu küçümseyenler, sözü edilen ince ayarın o kadar da ince olmadığını, yaşamın başka koşullar altında oluşmasını sağlayacak daha geniş bir pencereyi destekleyecek dengeleyici düzeneklerin bulunduğunu öne sürerler.)

hakkındaki son fizik kuramları, düzenli olarak her birinin kendine özgü kuralları olan yeni evrenlerin yaratıldığını, ancak bunların çoğunun ya kısa zamanda yok olup gittiğini, yok olmazlarsa da, kuralları giderek karmaşıklaşan biçimlerin evrimini desteklemedikleri için, dikkate değer herhangi bir örüntünün evrimi (Yeryüzü tabanlı biyolojinin oluşturduğu gibi) olmadan süregeldiklerini kurgular.[8] Kozmolojinin erken dönemlerine uygulanan bu evrim kuramlarını nasıl sınayabildiğimizi düşlemek zor; ancak, evrenimizin fizik kurallarının, artan düzeylerde düzen ve karmaşanın evrimine olanak vermeleri için ne gerekiyorsa tam da o oldukları açıktır.[9]

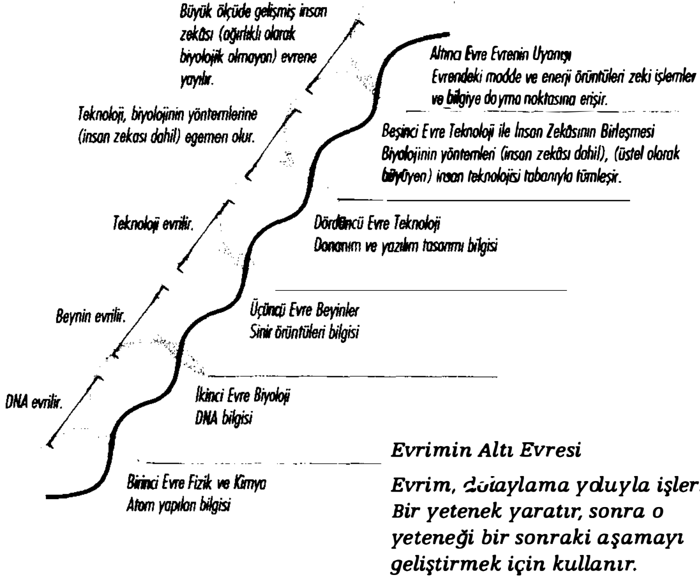
İnsancı ilke konusu, her biri kendi kurallar dizisi olan çeşitli evrenlerin varlığını savunan çağdaş uzay bilimi kuramları bağlamında (*bkz.* aşağıdaki 8. ve 9. notlar) yeniden ortaya çıkar. Ancak düşünen varlıkların var olmasına izin veren kuralların olduğu bir evrende burada bu soruları sorabilirdik.
Bu tartışmada yeni ufuklar açan metinlerden biri John Barrow ile Frank Tipler'e aittir: *The Anthropic Cosmological Principle* (New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1988). *Ayrıca bkz.* Steven Weinberg, "A Designer Universe?" http://www.physlink.com/Education/essay_weinberg.cfm.

8 Bazı uzay bilim kuramlarına göre bir değil, farklı birkaç evrenin oluşmasına (paralel evrenler ya da "balonlar") yol açan birkaç büyük patlama olmuştur. Farkı balonlarda farklı fizik sabitleri ve kuvvetleri geçerlidir; bu balonların bazılarındaki (ya da en azından birindeki) koşullar, karbon tabanlı yaşamı destekler. *Bkz.* Max Tegmark, "Parallel Universes," *Scientific American* (Mayıs 2003): 41–53; Martin Rees "Exploring Our Universe and Others," *Scientific American* (Aralık 1999): 78–83; Andrei Linde, "The Self-Reproducing Inflationary Universe," *Scientific American* (Kasım 1994): 48–55.

9 Kuantum mekaniğinin bir yorumu olarak "çoklu dünyalar" ya da seri evrenler kuramı, kuantum mekaniğinin ortaya koyduğu bir sorunsalı çözmek üzere geliştirilmiş, sonradan insancı ilkeyle birleştirilmiştir. Quentin Smith'in özetlediği biçimde: Kuantum mekaniğinin geleneksel ya da Kopenhag yorumuna ilişkin önemli bir zorluğu, kapalı bir evrenin genel uzay–zaman görelilik geometrisine uygulanamamasıdır. Böyle bir evrenin kuantum durumu, değişken uzay–zaman şiddetine sahip bir dalga fonksiyonu olarak nitelenebilir; herhangi bir belli noktada bulunan evrenin durumunun olasılığı, o noktadaki dalga fonksiyonunun şiddetinin karesidir. Evrenin, değişken olasılıkların farklı süperpozisyonlardan [üst üste binmeler] bu noktalardan birine –gerçekte olduğu noktaya– geçiş yapabilmesi için, dalga fonksiyonunu çökerterek, evrenin o noktada olacağını belirleyen bir ölçüm aygıtının bulunması gerekir. Ancak bu olanaksızdır, çünkü evrenin dışında hiçbir şey yoktur; dalga fonksiyonunu çökerten dış ölçüm aygıtı yoktur.
Olası bir çözüm, kuantum mekaniğinin Kopenhag yorumunun merkezinde yer alan dış gözlem ya da ölçüm düşüncesine dayanmayan bir yorumunu geliştirmektir. Kapalı bir sistemde temel olan bir kuantum mekaniği biçimlendirilebilir.

İkinci Evre: Biyoloji ve DNA. Birkaç milyar yıl önce başlayan ikinci evrede, karmaşık molekül yığınları kendiliğinden kopyalanan mekanizmaları biçimlendirmeğe ve yaşam oluşmaya başlayıncaya kadar karbon tabanlı bileşimler çapraşıklaşmıştır. Sonunda biyolojik sistemler, daha büyük bir molekül topluluğunu betimleyen bilgiyi depolayabilen kusursuz bir sayısal mekanizma (DNA) geliştirmişlerdir. Bu molekül ile onu destekleyen kodon ve ribozom çarkı, bu ikinci evrenin evrimsel deneylerinin bir kaydının tutulabilmesini mümkün kılmıştır.

Bu, Hugh Everett'in 1957 yılında yazdığı "Kuantum Fiziğinin Görelilik Durumunun Formülasyonu" adlı tezinde geliştirdiği türden bir yorumdur. Dalga fonksiyonuyla temsil edilen süperpozisyondaki her noktanın, gerçekte gözlemcinin (ya da ölçüm aygıtının) bir durumu ile gözlemlenen sistemin bir durumunu içerdiği düşünülür. Böylece, "ardından gelen her gözlemle (ya da etkileşimle) birlikte gözlemcinin durumu birkaç farklı duruma bölünerek 'dallar' oluşturur. Dallardan her biri ölçümün farklı bir sonucunu ve nesne–sistem duruma karşılık gelen özdurumu gösterir. Herhangi bir gözlem dizisinin ardından tüm dallar eşzamanlı olarak, süperpozisyonda var olur."
Her dal, diğer dalların her birinden nedensel olarak bağımsızdır, sonuçta da hiçbir gözlemci herhangi bir "bölünme" işleminin farkında olmayacaktır. Dünya her gözlemciye gerçekte göründüğü gibi görünecektir.
Evrenin bütününe uygulandığında bu, evrenin, farklı bölümleri arasındaki ölçüm benzeri etkileşimlerin sonucunda düzenli olarak çok sayıda farklı ve nedensel olarak bağımsız dallara ayrıldığı anlamına gelir. Her dal ayrı bir dünya gibi, her dünyanın da sürekli olarak başka dünyalara bölündüğü düşünülebilir.
Bu dalların –evrenler kümesinin– yaşam için hem uygun olanları hem de uygun olmayanları içereceğini varsayarak şöyle devam eder Smith: "Bu noktada, güçlü insancı ilkenin, kuantum mekaniğinin çoklu dünyalar yorumuyla birleşerek, bu makalenin başında söz edilen açık sorunsalı çözme girişiminde nasıl kullanılabileceği açıklanabilir. Yaşam barındırmayan birçok dünyadan birindense, zeki yaşamın olduğu bir dünyanın gerçek olduğu gibi görüşte problematik olan bilgi, hiçbir biçimde bilgi olarak düşünülmez. Yaşamı hem barındıran hem de barındırmayan dünyalar da gerçekse, bu dünyanın gerçek ama beklenen bir şey olması şaşırtıcı değildir."
Quentin Smith, "The Anthropic Principle and Many–Worlds Cosmologies," *Australasian Journal of Philosophy* 63.3 (Eylül 1985); http://www.qsmithwmu.com/the_anthropic_principle_and_many-worlds_cosmologies.htm adresinde bulunabilir.



Evrimin Altı Evresi

Evrim, dolaylama yoluyla işler: Bir yetenek yaratır, sonra o yeteneği bir sonraki aşamayı geliştirmek için kullanır.

Üçüncü Evre: Beyinler. Her evre, bilgi evrimini daha ileri bir "dolaylama" düzeyine giden bir paradigma değişimiyle sürdürür. (Yani evrim, bir evrenin sonuçlarını sonraki evreyi oluşturmak için kullanır.) Örneğin, üçüncü evredeki DNA güdümlü evrim, bilgiyi kendi duyu organlarıyla algılayıp, bu bilgiyi beyinlerinde ve sinir sistemlerinde işleyebilen ve saklayabilen organizmaları üretmiştir. Bu, (dolaylı olarak) üçüncü evrenin bilgi işleme mekanizmalarını (organizmaların beyinleri ve sinir sistemleri) olanaklı kılan ve tanımlayan ikinci evrenin mekanizmaları (DNA ve proteinlerin epigenetik bilgisi ve gen ekspresyonunu kontrol eden RNA parçaları) sayesinde gerçekleştirilebilmiştir. Üçüncü evre, ilk hayvanların örüntüleri tanıma yetenekleriyle başlamıştır; bu yetenek de hâlâ beyin faaliyetlerimizin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır.[10] Sonuçta türümüz, yaşadığımız dünyanın soyut zihinsel

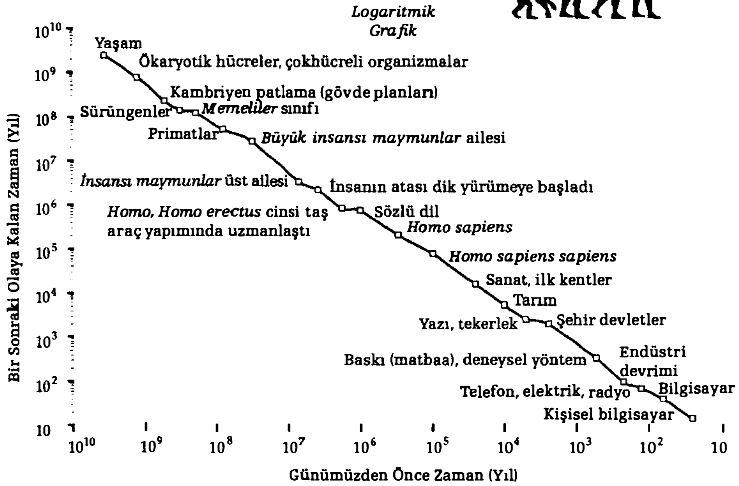
10 Beynin kendiliğinden düzenlenme ilkeleri ve bu işleyiş ilkesinin örüntü tanımayla ilişkisi için *bkz.* dördüncü bölüm.

modellerini yaratma ve bu modellerden akılcı biçimde çıkarılacak anlamlar üzerine düşünme yeteneğini geliştirmiştir. Biz, kendi zihinlerimizde dünyayı yeniden tasarlama ve bu düşünceleri eyleme geçirme yeteneğine sahibiz.

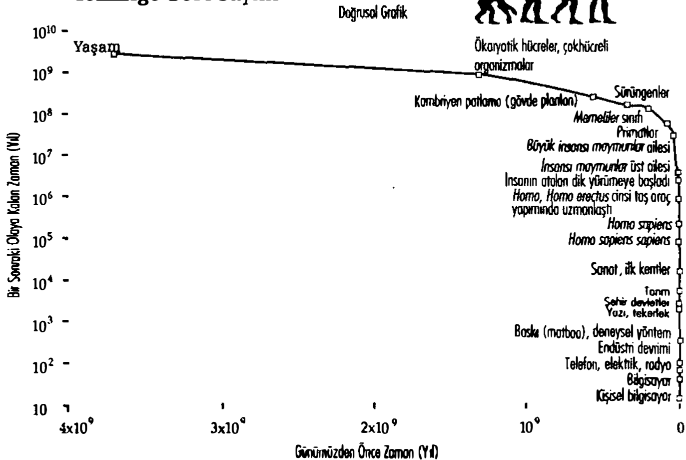
Dördüncü Evre: Teknoloji. Türümüz, doğuştan gelen akılcı ve soyut düşünce yeteneğini, diğer parmakları karşılayan başparmağımızla birleştirerek, dördüncü evreyi ve bir sonraki dolaylama düzeyini başlatmıştır: İnsan eliyle yaratılan teknolojinin evrimi. Bu evrim, basit mekanizmalarla başlayıp, karmaşık otomatlara (otomatik mekanik makinelere) kadar gelişmiştir. Sonuçta, ayrıntılı bilişim ve iletişim aygıtları sayesinde, teknolojinin kendisi karmaşık bilgi örüntülerini algılama, saklama ve değerlendirme yeteneğine sahip olmuştur. Zekânın biyolojik evriminin ilerleme hızını, teknolojik evrimin ilerleme hızıyla kıyaslayabilmek için en gelişmiş memelilerin beyinlerine her yüz bin yılda bir yaklaşık 16,5 cm^3 madde eklediğini, buna karşın bilgisayarların bilişim hızını her yıl kabaca ikiye katladığımızı düşünün (*bkz.* bir sonraki bölüm). Elbette ne beyin boyutu ne de bilgisayar kapasitesi zekânın tek belirleyicisidir, ama bunlar, olanak sağlayan etmenleri temsil ederler.

Hem biyolojik evrimin hem de insan teknolojisinin gelişmesinin ana dönüm noktalarını bir grafik üzerinde gösterip, *x* eksenini (kaç yıl önce olduğu) ve *y* eksenini (paradigma değişiminin süresi) logaritmik ölçeklerde işaretlersek, biyolojik evrimin doğrudan insan yönetimli gelişmeye doğru uzandığı oldukça düz bir çizgi (sürekli ivme) buluruz.[11]

11 "Doğrusal" (bütün kesim noktalarının eş aralıklarda olduğu) bir eksende verilerin tamamını (örneğin, milyar yıl) sınırlı bir alanda (sözgelimi, bu kitabın bir sayfası) göstermek olanaksız olurdu. Logaritmik eksen ("log") bu sorunu, gerçek değerlerin yerine değerlerin büyüklük kertesini gösterip, bu yolla daha geniş bir veri aralığını görmenizi sağlayarak çözer.



Tekilliğe Geri Sayım: Bir sonraki olaya kadar olan sürenin daha kısa olmasının işaret ettiği üzere, hem biyolojik evrim hem de insan teknolojisi sürekliliği olan bir ivme göstermektedir (yaşamın başlamasından hücrelerin oluşumuna kadar iki milyar yıl; kişisel bilgisayarın bulunmasından Dünya Çapında Ağa kadar on dört yıl).



Evrimin doğrusal görünüşü: Bir önceki şekille yine aynı bilgiyi kullanmakla birlikte, bugünden önceki zaman için logaritmik yerine doğrusal ölçek kullanır. Bu grafik, kazanılan ivmeyi daha çarpıcı biçimde ortaya koyar, ancak ayrıntılar görülmez. Doğrusal bakış açısıyla ele alındığında, kilit olayların çoğu "yakın geçmişte" olmuştur.

Yukarıdaki şekiller, benim biyoloji ve teknoloji tarihindeki kilit gelişmelere bakışımı yansıtmaktadır. Bununla birlikte, evrimin sürekli ivmesini gösteren düz çizginin, özellikle benim seçtiğim olaylara bağlı olmadığını dikkate alın. Birçok gözlemci ve başvuru kitabı, biyolojik ve teknolojik evrimin önemli olaylarını içeren listeler oluşturmuşlardır, bu listelerin her birinin kendine özgü belirgin nitelikleri vardır. Yaklaşımların çeşitliliğine karşın, yine de eğer çeşitli kaynaklardan aldığımız listeleri birleştirirsek (örneğin, *Britannica Ansiklopedisi*, Amerika Doğa Tarihi Müzesi, Carl Sagan'ın "kozmik takvim"i ve diğerleri), aynı belli düzgün ivmeyi görürüz. Aşağıdaki grafikte, on beş ayrı kilit olay listesi bir araya getirilmiştir.[12] Farklı düşünürler, aynı olaya farklı tarihler verdik-

12 Monterrey, Meksika'daki DUXX, İş Önderliği Lisansüstü Okulunda öğretim üyesi olan Theodore Modis, "evrendeki değişimin ve karmaşıklığın evrimini yöneten kesin bir matematik kuralı" geliştirmeyi denemiştir. Bu değişimlerin örüntü ve tarihçesini araştırmak için de büyük değişimlere yol açan olayların analitik veri kümesine gereksinim duymuştur. Taraflı seçim yapmamak için yalnızca kendi hazırladığı listeye bağlı kalmak istememiş, bunun yerine, aşağıdaki kaynaklardan biyoloji ve teknoloji tarihindeki büyük olayların on üç ayrı listesini derlemiştir.

Carl Sagan, *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence* (New York: Ballantine Books, 1989). Tam tarihler Modis tarafından sağlanmıştır.

Amerikan Doğal Tarih Müzesi. Tam tarihler Modis tarafından sağlanmıştır.

Britannica Ansiklopedisi içinde verilen "yaşam tarihinde önemli olaylar" bilgi seti.

Astronomi ve Gezegen Bilimi Hakkında Eğitsel Kaynaklar (ERAPS) Arizona Üniversitesi, http://ethel.as.arizona.edu/~collins/astro/subject/evolve-26.html.

Paul D. Boyer, biyokimyager, 1997 Nobel Ödülü sahibi, özel iletişim. Tam tarihler Modis tarafından sağlanmıştır.

J. D. Barrow ve J. Silk, "The Structure of the Early Universe," *Scientific American* 242.4 (Nisan 1980): 118–128.

J. Heidmann, *Cosmic Odyssey: Observatoir de Paris*, çev. Simon Mitton (Cambridge, İngiltere: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1989).

J. W. Schopf, yay. haz., *Major Events in the History of Life*, IGPP Evrim ve Yaşamın Kaynağı Araştırmaları Merkezi tarafından düzenlenen sempozyum, 1991 (Boston: Jones and Bartlett, 1991).

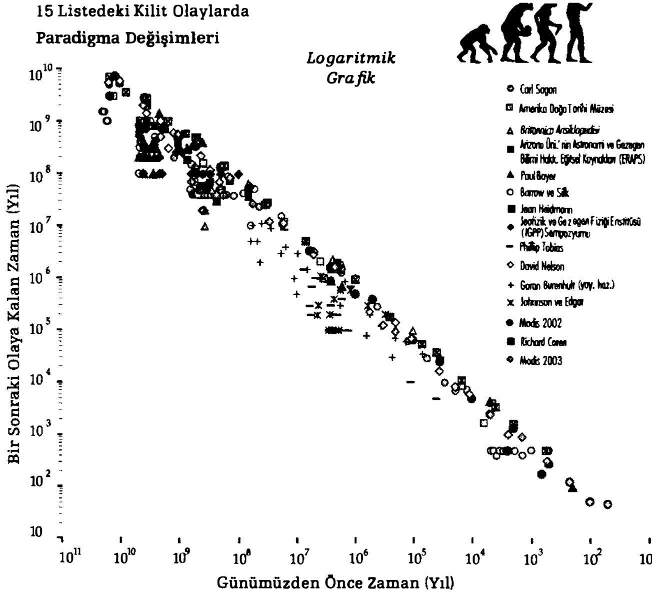
Phillip Tobias, "Major Events in the History of Mankind," Schopf, *Major Events in the History of Life* içinde, 6. bölüm.

David Nelson, "Lecture on Molecular Evolution I," http://drnelson.utmem.edu/evolution.html ve "Lecture Notes for Evolution II," http://drnelson.utmem.edu/evolution2.html.

G. Burenhult, yay. haz. *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 BC* (San Fransisco: HarperSanFransisco, 1993).

D. Johanson ve B. Edgar, *From Lucy to Language* (New York: Simon & Schus-

lerinden ve farklı listeler farklı ölçütlere göre seçilmiş benzer ya da örtüşen olayları içerdiğinden, bu verilerdeki "gürültü" (istatistik değişken) nedeniyle, eğilim çizgisinde beklendik bir "kalınlaşma" görüyoruz. Bununla birlikte, genel eğilim çok bellidir.



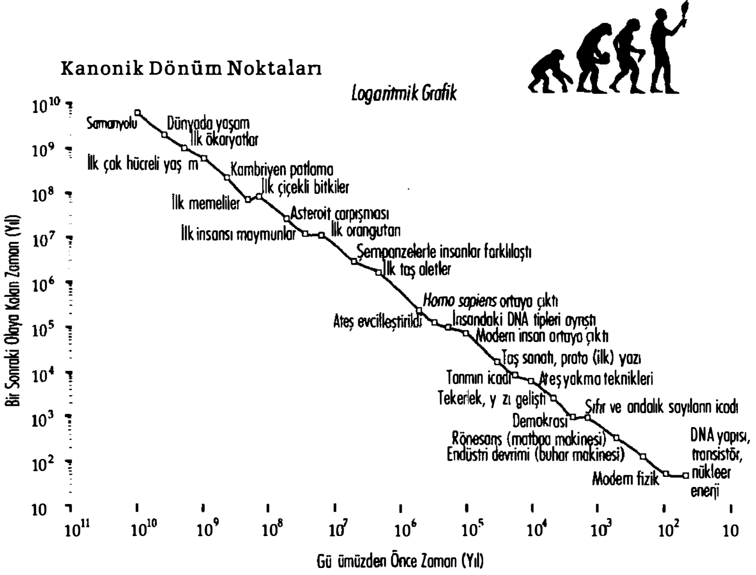
Evrim hakkında on beş görüş: Kilit olaylara ilişkin on beş farklı listenin gözünden dünya tarihindeki önemli paradigma değişimleri. Biyolojik, ardından teknolojik evrim yoluyla belirgin bir düzgün ivme eğilimi görülmekte.

---

ter, 1996). R. Coren, *The Evolutionary Trajectory: The Growth of Information in the History and Future of Earth*, World Futures General Evolution Studies (Amsterdam: Gordon and Breach, 1998).

Tarihleri 1980'ler ile 1990'lara ait bu listelerin birçoğu evrenin bilinen tarihini kapsamakta, yalnızca üçü insansı maymun evrimine ait daha dar döneme odaklanmaktadır. Daha eski listelerden bazılarında kullanılan tarihler kesin değildir, ama burada önemli olan olayların kendileri ve tarih içindeki göreli konumlarıdır.

Modis daha sonra, önemli olay kümelerini, yani kendi "kanonik dönüm noktalarını" belirlemek amacıyla bu listeleri birleştirmiştir. Bu çalışma sonucunda listelerdeki 203 dönüm noktası oluşturan olaydan 28 kanonik dönüm noktası çıkmıştır. Modis ayrıca Coren tarafından hazırlanmış ayrı bir listeyi de kendi yöntemini doğrulamak için kullanmıştır. *Bkz.* T. Modis, "Forecasting the Growth of Complexity and Change," *Technological Forecasting and Social Change* 69.4 (2002); http://ourworld.compuserve.com/homepages/tmodis/TedWEB.htm.



On üç listedeki olay kümeleri temelinde kanonik dönüm noktaları.

Fizikçi ve karmaşıklık kuramcısı Theodore Modis bu listeleri çözümleyip, listelerdeki aynı, benzer ve/veya ilişkili olayları bir araya getirerek (kanonik dönüm noktaları adını verdiği) yirmi sekiz olay kümesi belirlemiştir.[13] Temelde listelerdeki "gürültüyü" (örneğin, listeler arasındaki tarih değişkenleri) kaldıran bu süreç, yine aynı gelişmeyi ortaya koymuştur.

---

13 Modis, listelerin boyutundaki değişkenlik ile tarihlerdeki değişkenliklerden hatalar doğabileceğini belirtmektedir (*bkz.* T. Modis, "The Limits of Complexity and Change," *TheFuturist* [Mayıs–Haziran 2003], http://ourworld.compuserve.com/homepages/tmodis/Futurist.pdf). Bu nedenle, kanonik dönüm noktalarını tanımlamak için tarih kümeleri kullanmıştır. Her dönüm noktası, bilinen hataların standart sapmayı oluşturduğu varsayılan bir ortalamayı ifade eder. Birden fazla kaynağa dayanmayan olaylar için ise, "ortalama hatayı hata olarak kendisi atamıştır." Modis, standart sapmada belirlenmeyen başka hata kaynaklarına da –kesin tarihlerin bilinmediği ya da her veri noktası için aynı önemde olabilecek hatalı varsayım olasılığının bulunduğu durumlarda– işaret eder.
Modis'in dinozor türünün tükendiğini söylediği 54,6 milyon yıl öncesine ait tarihin olması gerektiği kadar uzak bir tarih olmadığına dikkat ediniz.

Bu grafiklerde üstel olarak büyüyen nitelikler, sonraki bölümde araştıracağımız düzen ve karmaşıklık kavramlarıdır. Söz konusu ivme, bizim sağduyulu gözlemlerimizle uyuşmaktadır. Bir milyar yıl önce, bir milyon yıllık bir süre içinde bile pek fazla bir şey olmamıştır. Ama çeyrek milyon yıl önceden başlayarak, türümüzün evrilmesi gibi çığır açan olaylar yalnızca yüz yıl gibi zaman dilimlerinde olmuştur. Teknolojide ise, elli bin yıl öncesine gidersek, bin yıllık bir dönemde pek fazla bir şeyin olmadığını görürüz. Ama yakın geçmişte, Dünya Çapında Ağ (www) gibi yeni paradigmaların yalnızca on yıl içinde ortaya çıkıp, kitlelerce benimsenmesi (yani, gelişmiş ülkelerdeki nüfusun dörtte biri tarafından kullanılması) derecesinde ilerleme kaydettiğini görürüz.

Beşinci Evre: Teknoloji ile Birleşen İnsan Zekâsı. Onlarca yıl ileriye baktığımızda, Tekillik beşinci evrede başlayacaktır. Tekillik, kendi beyinlerimizde gömülü engin bilgi ile teknolojimizin çok daha büyük kapasite, hız ve bilgi paylaşım yeteneğinin birleşmesinden doğacaktır. Beşinci evre, insan–makine uygarlığımızın, insan beyninin yalnızca yüz trilyonluk son derece yavaş bağlantılarının getirdiği kısıtlamaları aşmasını sağlayacaktır.[14]

Tekillik, yüzyılların getirdiği insani sorunları çözmemizi sağlayacak, insan yaratıcılığını büyük çapta artıracaktır. Evrimin bize bağışladığı zekâyı koruyup geliştirirken, biyolojik evrimin temelindeki sınırlamaların üstesinden geleceğiz. Ancak Tekillik, yıkıcı eğilimlerimizle eyleme geçme yeteneğimizi de geliştirecektir, bu nedenle öyküsünün tamamı henüz yazılmamıştır.

Altıncı Evre: Evrenin Uyanışı. Bu konuyu altıncı bölümde, "Evrenin Zeki Yazgısı Üzerine..." başlığı altında irdeleyeceğim. Tekillikten sonraki dönemde, insan beynindeki biyolojik kökeninden ve insan dehasının teknolojik kaynağından türetilen zekâ, madde ve enerjiyi kendi içinde doygunluğa ulaştıracaktır. Bunu, en uygun

---

14 Nöronlar arasındaki bağlantıların sıfırlanma süreleri genellikle yaklaşık beş milisaniyedir. Bu da saniyede iki yüz sayısal kontrollü analog işlem olanağı sağlar. Bu, sinirsel bilgi işlemede çoklu doğrusalsızlığı açıklasa da bir nanosaniyeden az sürede devreye girebilen çağdaş elektrik devrelerinden yaklaşık bir milyon kez daha yavaştır (*Bkz.* ikinci bölümdeki bilgi işlem kapasite analizi).

bilişim düzeyini sağlayıp (üçüncü bölümde tartışacağımız çerçevede) kaynağından dünyaya yayılabilmek için madde ile enerjiyi yeniden düzenleyerek başaracaktır.

Bugün, ışık hızının bilgi aktarımında bağlayıcı bir unsur olduğunu düşünüyoruz. Bu sınırlamadan kurtulmaya çalışma fikrinin son derece spekülatif görülmesi gerekse de, bu kısıtlamanın aşılabileceğini gösteren işaretler vardır.[15] Çok küçük sapmalar olsa bile, sonunda ışıktan daha hızlı olma yeteneğini denetleyip, kullanabileceğiz. Uygarlığımızın yaratıcılık ve zekâsını evrenin diğer yanlarına hızlı mı yoksa yavaş mı yayacağı onun değişmezliğine bağlıdır. Her durumda, evrenin "akılsız" madde ve mekanizmaları, bilgi örüntülerinin evriminde altıncı evreyi oluşturacak olan zekânın son derece yüksek biçimlerine dönüşecektir.

Bu, Tekilliğin ve evrenin sonul yazgısıdır.

Tekillik Yakında

> Biliyorsun, her şey çok farklı olacak!... Yok, yok, demek istediğim, gerçekten farklı olacak!
>
> —Bilgisayar uzmanı Mark Miller'dan Eric Drexler'e, 1986 dolayları

> Bu olayın sonuçları nelerdir? İnsanın zekâsından daha ileri bir zekâ tarafından yönlendirilen ilerleme çok daha hızlı olacaktır. İlerlemenin kendisiyle –daha kısa bir zaman ölçeğinde– daha da zeki oluşumların yaratılmaması için bir neden yok gibi görünmektedir. Bu durumun en iyi evrimsel geçmişle kıyaslanabildiğini düşünüyorum: Hayvanlar sorunlara uyum gösterebilir, icat yapabilir, ama bunlar çoğu zaman doğal seçilimin işleyişinden hızlı olamamakta, doğal seçilim sürecinde, dünya kendi simülatörü gibi davranmak-

---

15 Los Alamos Ulusal Laboratuvarının araştırmacılarının, (Batı Afrika'da Oklo, Gabon'da bulunan) dünyanın bilinen tek doğal nükleer reaktöründeki radyoaktif izotopların göreli yoğunlaşmaları üzerine yaptıkları yeni bir analiz, iki milyar yıl içinde ince yapı sabiti ya da alfada (ışığın hızı alfaya ters orantılıdır) düşüş olduğunu gösterdi. Bulgunun net biçimde doğrulanması gerekmekle birlikte, bu, ışık hızında küçük bir artışı ifade eder. *Bkz.* "Speed of Light May Have Changed Recently," *New Scientist*, Haziran 2004, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99996092. *Ayrıca bkz.* http://www.sciencedaily.col/releases/2005/05/050512120842.htm.

tadır. Biz insanlar dünyayı içselleştirip, kafalarımızda "eğer ... varsayarsak" şeklinde koşullu önermeler yürütme yeteneğine sahibiz; birçok sorunu doğal seçilimden binlerce kat hızlı çözebiliriz. Bugün, bu simülasyonları çok daha yüksek hızlarda gerçekleştirecek araçları yaratarak, artık alt seviyelerdeki hayvanlardan olduğu kadar, beşeri geçmişimizden de radikal biçimde farklı bir düzene giriyoruz. İnsanın bakış acısıyla bu değişim, önceki tüm kuralların belki de göz açıp kapayıncaya kadar atılıverilmesi, her tür kontrol umudunun ötesinde üstel bir kaçış olacaktır.

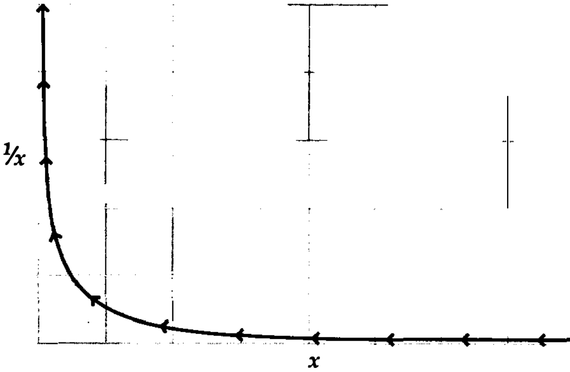
—Vernor Vinge, "The Technological Singularity" ["Teknolojik Tekillik"] 1993

Gelin üstün zekâlı bir makineyi, ne kadar zeki olursa olsun, bir insanın zihinsel etkinliklerinin çok ötesine geçebilen makine olarak tanımlayalım. Makinelerin tasarımı da bu zihinsel etkinliklerden biri olduğuna göre, üstün zekâlı bir makine çok daha iyi makineler tasarlayabilecek; o zaman da tartışmasız bir "zekâ patlaması" ortaya çıkacak, insan zekâsı çok gerilerde kalacaktır. Yani, insanın yapması gereken en son icat, yapacağı ilk üstün zekâlı makinedir.

—Irving John Good, "Speculations Concerning The First Ultraintelligent Machine" ["İlk Süper Akıllı Makineye Dair Düşünceler"] 1965

Tekillik kavramını daha geniş bir bakışla kavramak için, sözcüğün tarihçesini araştıralım. İngilizcedeki "Singularity" (Tekillik) sözcüğü, benzeri olmayan, tekil sonuçlara yol açan durum anlamına gelen bir sözcüktür. Matematikçiler sözcüğü, değişmez bir niceliğin giderek sıfıra yaklaşan bir sayıya bölünmesi sonucunda elde edilen ani büyüklük patlaması gibi, herhangi bir sonlu sınırı aşan değerin ifadesi olarak benimsemişlerdir. Örneğin, basit bir fonksiyonu, $y = 1/x$, ele alın. x'in değeri sıfıra yaklaştıkça, fonksiyonun değeri (y) giderek daha büyük değerler alır.

Matematiksel Bir Tekillik *Doğrusal Grafik*



Matematiksel bir tekillik: x sıfıra yaklaşırken (sağdan sola), $1/x$ (ya da y) sonsuzluğa yaklaşır.

Böyle bir matematik fonksiyon gerçekte hiçbir zaman sonsuz bir değere ulaşmaz, çünkü bir sayıyı sıfıra bölmek matematik olarak "tanımsızdır" (hesaplanması olanaksızdır). Ancak, bölen x sıfıra yaklaşırken y'nin değeri herhangi bir olası sonlu sınırı aşar (sonsuzluğa yaklaşır).

Sözcüğün benimsendiği ikinci alan astrofizik olmuştur. Büyük kütleli bir yıldızda bir süpernova patlaması olduğunda, kalıntısı er ya da geç sıfır oylum ve sonsuz yoğunluk noktasına doğru düşer, böylece merkezinde bir "tekillik" oluşur. Işığın, bu sonsuz yoğunluğa ulaştıktan sonra yıldızdan kaçamayacağı düşünüldüğü için[16] buna kara delik adı verilmiştir.[17] Kara delik uzay–zaman dokusunda bir yırtılma oluşturur.

16 Stephen Hawking 21 Temmuz 2004 tarihinde Dublin'de yapılan bir bilimsel konferansta, otuz yıl önce kara delikler hakkında ortaya koyduğu tartışmalı savda yanıldığını açıkladı. Hawking, kara deliklerin yuttukları nesnelerin geri gelmelerinin mümkün olmadığını öne sürmüştü. Bu, bilginin korunduğunu söyleyen kuantum kuramının ihlali olurdu. "Bilimkurgu severleri düş kırıklığına uğrattığım için özür dilerim, ama eğer bilgi korunuyorsa, başka evrenlere gidebilmek için kara deliklerin kullanılması mümkün değildir," diye konuştu. "Bir kara deliğin içine atlarsanız, kütle enerjiniz bulunduğumuz evrene dönecektir, ama neye benzediğinizin bilgisini içeren ancak tanınmayacak kadar bükülmüş bir formda dönecektir." *Bkz.* Dennis Overbye, "About Those Fearsome Black Holes? Never Mind," *New York Times*, Temmuz 2004.

17 Olay ufku, Tekilliği (kara deliğin, sonsuz yoğunluk ve basınçla nitelendirilen merkezi) çevreleyen küresel bir bölgenin dış sınırı ya da çevresidir.

Bir kurama göre, evren doğrudan bu türden bir Tekillikle başlamıştır.[18] Ancak, ilginç biçimde, bir kara deliğin yüzeyi sonlu büyüklüğe sahiptir ve kütleçekim gücü, yalnızca kara deliğin sıfır büyüklüğündeki merkezinde kuramsal olarak sonsuzdur. Gerçek anlamda ölçülebilen herhangi bir konumda kuvvetler, aşırı büyük olsalar da sonludurlar.

Tekilliğe, insanlık tarihinden bir kopuşu gerçekleştirebilecek bir olay olarak yapılan ilk atıf, John von Neumann'ın yukarıda alıntılanan sözüdür. 1960'larda I. J. Good, zeki makinelerin insanın müdahalesi olmadan, kendilerinden sonra gelecek kuşağı tasarlamaları sonucunda oluşan bir "zekâ patlaması" hakkında yazmıştır. San Diego Eyalet Üniversitesinde matematikçi ve bilgisayar bilimcisi olan VernorVinge, 1983 yılında *Omni* dergisindeki bir makalesinde ve 1986 yılında *Marooned in Real-time* [*Gerçek Zamanda Mahsur*] adlı bilimkurgu romanında, hızla yaklaşan "teknolojik tekillik" hakkında yazmıştır.[19]

1989 yılında yayımlanan kitabım *The Age of Intelligent Machines*, yirmi birinci yüzyılın ilk yarısında makinelerin insan zekâsını büyük ölçüde aşmasına doğru kaçınılmaz biçimde yol alan bir geleceği ortaya koymaktadır.[20] Hans Moravec, 1988 tarihli kitabı *Mind Children*'da [*Aklın Çocukları*], robotbilimin ilerleyişini

---

Bu olay ufkunun içindeki kütleçekim etkileri o kadar güçlüdür ki, çiftin birinin kara deliğe çekilip diğerinin ışıma olarak yayıldığı (Hawking ışıması) parçacık-karşıt parçacık çiftlerinin oluşmasına neden olan kuantum etkileri sayesinde yüzeyden yayılan bir ışıma olmasına karşın ışık bile kaçamaz. Bu bölgelere, Profesör John Wheeler tarafından ifade edilen terimle "kara delik" denmesinin nedeni budur. Kara delikler ilk olarak Alman astrofizikçi Kurt Schwartzschild tarafından 1916 yılında, Einstein'ın Genel Görelilik kuramına dayanarak öngörüldüyse de gökadaların merkezindeki varlıkları ancak kısa zaman önce deneysel olarak ortaya konmuştur. Daha fazla bilgi için *bkz.* Kimberly Weaver, "The Galactic Odd Couple," http://www.scientificamerican.com, 10 Haziran 2003; Jean-Pierre Lasota "Unmasking Black Holes," *Scientific American* (Mayıs 1999): 41-47; Stephen Hawking, *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes* (New York: Bantam, 1988).

18 Joel Smoller ve Blake Temple, "Shock-Wave Cosmology Inside a Black Hole," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100.20 (30 Eylül 2003): 11216-18.

19 Vernor Vinge, "First Word," *Omni* (Ocak 1983): 10.

20 Ray Kurzweil, *The Age of Intelligent Machines* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1989).

çözümleyerek benzer bir sonuca ulaşmıştır.[21] 1993 yılında Vinge, NASA'nın düzenlediği bir sempozyumda Tekilliği, başına buyruk bir olgunun habercisi olarak gördüğü "insan zekâsından daha büyük varlıkların" ortaya çıkışının sonucunda yaklaşan bir olay olarak tanımlayan bir bildiri sunmuştur.[22] 1999 yılında yayımlanan kitabım *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence* [*Tinsel Makineler Çağı: İnsan Zekâsını Aşan Bilgisayarlar*], biyolojik zekâmız ile yarattığımız yapay zekâ arasındaki giderek yakınlaşan ilişkiyi betimlemektedir.[23] Hans Moravec'in yine 1999 yılında yayımlanan *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind* [*Robot: Aklın Ötesine Geçen Makine*] adlı kitabı, 2040'ların robotlarını bizim "evrilmiş kalıtçılarımız," "bizden çıkıp büyüyecek, becerilerimizi öğrenip, hedeflerimizi ve değerlerimizi paylaşacak, ... bizim aklımızın çocukları" olan makineler olarak betimlemektedir.[24] Avustralyalı bilim insanı Damien Broderick, 1997 ve 2001 yıllarında *The Spike* [*Doruk Nokta*] adıyla yayımlanan iki ayrı kitabında, teknolojinin on yıllar içinde kazanması beklenen ivmenin varacağı uç aşamaların yaygın etkilerini çözümlemiştir.[25] Geniş kapsamlı bir dizi yazısında John Smart, Tekilliği, "MEST" (madde, enerji, uzay–zaman) sıkışması adını verdiği şeyin kaçınılmaz sonucu olarak tanımlamıştır.[26]

---

21 Hans Moravec, *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence* (Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1988).

22 Vernor Vinge, "The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era," NASA Lewis Araştırma Merkezi ve Ohio Uzay Enstitüsü sponsorluğunda düzenlenen VISION-21 Sempozyumu, Mart 1993. Metin, http://www.KurzweilAI.net/vingesing adresinden bulunabilir.

23 Ray Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence* (New York: Viking, 1999).

24 Hans Moravec, *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind* (New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1999).

25 Damien Broderick'in iki yapıtı: *The Spike: Accelerating into Unimaginable Future* (Sidney, Avustralya: Reed Books, 1997) ve *The Spike: How Our Lives Are Being Transformed by Rapidly Advancing Technologies*, gözden geçirilmiş baskı. (New York: Tor/Forge, 2001).

26 John Smart'ın özetlerinden biri olan "What is Singularity," http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0133.html adresinde verilmektedir; John Smart'ın teknolojinin ivmesi, Tekillik ve ilgili konularda derlenmiş yazıları için *bkz.* http://www.accelerating.org.
John Smart, "yapay zekâ ve zekânın geliştirilmesine" ilişkin konuları ele alan "Accelerating Change" konferansını yönetmektedir. *Bkz.* http://www. accelerating. org/ac2005/index.html.

Bana göre Tekilliğin birçok yüzü vardır. Tekillik, teknolojinin sonsuz bir hızda gelişir gibi göründüğü, üstel büyümenin neredeyse dikey olan evresini temsil eder. Matematik bakışla, tabii ki ne kesinti vardır ne de kopma; büyüme hızları, olağanüstü büyük de olsalar, sonludur. Ama şu anki sınırlı çerçevemizden bakıldığında, eli kulağındaki bu durum ilerlemenin sürekliliğinde şiddetli ve ani bir kırılma gibi görünür. "Şu anki" ifadesini vurguluyorum, çünkü Tekilliğin en çarpıcı sonuçlarından biri, bizim anlama yeteneğimizin doğasındaki değişim olacaktır. Teknolojiyle birleştiğimizde çok daha akıllı olacağız.

Teknolojik ilerlemenin hızlanışı, süresiz olarak devam edebilir mi? İnsanların, buna ayak uyduracak kadar hızlı düşünemeyeceği bir nokta yok mudur? Gelişmemiş insanlar için olduğu açıktır. Ama her biri bugünün bilim insanlarından 1000 kat daha zeki, her biri (temelde biyolojik olmayan beyinlerinin bilgiyi işleme hızı daha hızlı olduğundan) çağdaş insanlardan 1000 kat daha hızlı çalışabilen 1000 bilimci neler başarabilir? Bir takvim yılı, onlara bin yıl gibi gelecektir.[27] Ortaya ne çıkarabilirler?

Her şeyden önce, daha zeki olabilmek için gereken teknolojiyi yaratacaklardır (çünkü zekâ kapasiteleri artık sabit değildir). Kendi düşünce süreçlerini, daha da hızlı düşünmelerini sağlayacak biçimde değiştireceklerdir. Bilimciler bir milyon kat daha zeki olup bir milyon kat daha hızlı çalışabildiklerinde, bir saatin sonunda (bugünün tanımlarıyla) yüz yıllık ilerleme kaydedilebileceklerdir.

Aşağıdaki ilkeler Tekillikle ilintilidir; kitabın ilerleyen sayfalarında bunları belgeleyip, geliştirip, çözümleyerek üzerlerinde düşüneceğim

- Paradigma değişiminin (teknolojik yenilik) hızı ivme kazanmakta, şu anda her on yılda ikiye katlanmaktadır.[28]
- Bilgi teknolojilerinin gücü (fiyat performansı, hız, kapasite ve bant genişliği) daha da yüksek bir hızda, üstel büyümekte,

27 Elektronik sistem üzerinde çalışan insan beyninin bir taklidi kendi biyolojik beyinlerimizden çok daha hızlı çalışacaktır. Her ne kadar insan beyni yoğun paralellikten (potansiyel olarak hepsi eşzamanlı çalışan yaklaşık yüz trilyon nöron bağlantısı) yararlansa da bağlantıların sıfırlanma süresi, çağdaş elektroniğe kıyasla son derece yavaştır.

28 *Bkz.* ikinci bölümdeki 20. ve 21. notlar.

bugün yaklaşık olarak her yıl ikiye katlanmaktadır.[29] Bu ilke, insan bilgisinin miktarı da dahil olmak üzere çok çeşitli ölçümleri kapsar.

- Bilgi teknolojileri için ikinci bir üstel büyüme düzeyi söz konusudur; yani, üstel büyüme hızının üstel büyümesi (üstel kuvvet). Nedeni, bir teknolojinin maliyet etkinliği arttıkça onun gelişimi için daha fazla kaynak ayrılmakta, böylece üstel büyüme zaman içinde artmaktadır. Örneğin, 1940'larda bilgisayar endüstrisi, artık tarihi değeri olan bir avuç projeden oluşuyordu. Bugün, bilgisayar endüstrisinin toplam geliri bir trilyon dolardan fazladır, araştırma ve geliştirme bütçeleri de aynı oranda daha yüksektir.
- İnsan beyninin taranması, üstel büyüyen bu teknolojilerden biridir. Dördüncü bölümde göstereceğim gibi, beyin taramalarının uzaysal ve zamansal çözünürlüğü ile bant genişliği her yıl ikiye katlanmaktadır. İnsan beyninin çalışma ilkeleri üzerinde ciddi anlamda ters mühendislik (kod çözme) çalışmalarına başlayabilmek için yeterli araçları henüz ediniyoruz. Beynin birkaç yüz bölgesinden birkaç düzinesinin ustaca hazırlanmış model ve simülasyonlarını çoktan elde ettik. Yirmi yıl içinde insan beyninin tüm bölgelerinin nasıl çalıştığını ayrıntılı olarak anlayabileceğiz.
- İnsan zekâsını taklit edebilmek için gereken donanıma bu on yılın sonunda süper bilgisayarlarla, gelecek on yılın sonunda da kişisel bilgisayar boyutundaki aygıtlarla sahip olacağız. 2020'li yılların ortalarında ise elimizde insan zekâsının etkili yazılım modelleri olacak.
- İnsan zekâsını tam olarak taklit edebilmek için gereken donanım ve yazılımla, 2020'lerin sonunda bilgisayarların biyolojik insan zekâsından farklı bir zekâ göstererek Turing testini başarıyla tamamlamalarını bekleyebiliriz.[30]

---

29 Bilgisayar kullanımının fiyat performansına uygulandığı biçimiyle bilgi teknolojilerinin üstel büyümesinin matematiksel çözümlemesi için *bkz*. "Ek: İvmelenen Getiriler Yasasının Yeniden Ele Alınması" bölümü.

30 1950 yılında *Mind: A Quarterly Review of Psychology and Philosophy*'de yayımladığı bildiride bilgisayar kuramcısı Alan Turing ünlü sorularını sormuştur: "Makine düşünebilir mi? Bir bilgisayarın düşündüğünü nasıl anlarız?" İkinci sorunun yanıtı Turing testidir. Şu anda da tanımlanan biçimiyle bu

- Bu gelişmişlik düzeyine eriştiklerinde bilgisayarlar, insan zekâsının geleneksel olarak güçlü yanlarını makine zekâsının güçlü yanlarıyla birleştirebilecekler.
- İnsan zekâsının geleneksel olarak güçlü yanları arasında, örüntüleri tanımak gibi müthiş bir yetenek vardır. İnsan beyninin yoğun paralel ve kendiliğinden düzenlenen doğası, incelikli, değişmez özelliklere dayalı örüntüleri tanımak için ideal bir mimaridir. İnsanlar ayrıca, algılama yetisini kullanarak ve deneyimden ilkeler çıkararak, dil yoluyla toplanan bilgi de dahil yeni bilgiler edinme yeteneğine sahipler. İnsan zekâsının kilit yeteneklerinden biri de gerçeğin zihinsel modellerini oluşturup, bu modellerin farklı yönlerine göre zihinsel "eğer–böyleyse" deneyleri yürütme yeteneğidir.
- Makine zekâsının geleneksel olarak güçlü yanlarından biri, milyarlarca veriyi doğru olarak bellekte tutup bu bilgileri anında anımsama yeteneğidir.
- Biyolojik olmayan zekânın bir diğer avantajı, makinenin bir beceriyi bir kere öğrendikten sonra üst üste birçok kez, hızla, doğru biçimde, yorulmadan yineleyebilmesidir.
- Belki de en önemlisi, insanın bilgiyi dil yoluyla oldukça yavaş bir hızda aktarmasına karşılık, makinelerin bilgilerini son derece hızlı aktarabilmeleridir.
- Biyolojik olmayan zekâ, diğer makinelerden ve sonunda insanlardan beceri ve bilgi yükleyebilecek.
- Memelilerin biyolojik beyinlerinin elektrokimyasal sinyaller için kullandıkları saniyede yüz metrelik hıza kıyaslandığında, makineler sinyalleri ışık hızına yakın bir hızda (yaklaşık ola-

---

testte uzmanlardan oluşan bir kurul, uzaktaki bir deneğe aşk, güncel olaylar, matematik, felsefe gibi çeşitli konularda ve özel geçmişi hakkında sorular sorarak, deneğin bir bilgisayar mı yoksa insan mı olduğunu saptar. Turing testi, insan zekâsının ölçüsü olarak tasarlanmıştır; testi geçememek zekâ düşüklüğünü göstermez. Turing'in özgün makalesi için *bkz.* http://www.abelard.org/turpap.htm; test hakkındaki tartışmalar için ayrıca *bkz. The Stanford Encyclopedia of Philosophy,* http://plato.stanford.edu/entries/turing-test.

Tam olarak insan zekâsıyla aynı düzeydeki zekâya sahip olmayan bir makinenin doğru hazırlanmış bir Turing testini geçmesini sağlayacak herhangi bir hile ya da algoritma yoktur. *Ayrıca bkz.* Ray Kurzweil, "A Wager on the Turing Test: Why I Think I Will Win," http://www.KurzweilAI.net/turingwin.

rak saniyede üç yüz milyon metre) işleyip dönüştürebilecek.[31] Bu hız oranı en azından üç milyona birdir.

- Makineler, internet yoluyla insan–makine uygarlığımızın sahip olduğu tüm bilgiye erişebilecek, bu bilginin tamamına egemen olabilecekler.
- Makineler kendi kaynaklarını, zekâlarını ve belleklerini birleştirebilirler. İki makine –ya da bir milyon makine– bir araya gelerek tek bir makineyi oluşturup sonra yine ayrılabilirler. Birden çok makine her ikisini de aynı anda yapabilir; birleşir, aynı zamanda da ayrı olabilirler. İnsanlar bunu âşık olmak diye tanımlarlar, ancak bunu yapmak için sahip olduğumuz biyolojik yeteneğimiz uçarı ve güvenilmezdir.
- Geleneksel olarak güçlü olan bu yanların birleşimi (biyolojik insan zekâsının örüntü tanıma yeteneği ile biyolojik olmayan zekânın hızı, bellek kapasitesi, hatasızlığı ve bilgi–beceri paylaşım yetenekleri) müthiş olacaktır.
- Makine zekâsı, her zaman tutarlı performans gösterebileceği gibi tam bir tasarım ve mimari özgürlüğüne de sahip olacak (yani, sinirler arası bağlantıların geçiş yavaşlığı ya da değişmez kafatası büyüklüğü gibi biyolojik sınırlamalarla kısıtlanmayacaktır).
- Biyolojik olmayan zekâ, hem insanların hem de makinelerin geleneksel olarak sahip olduğu güçleri birleştirdiğinde, uygarlığımızın zekâsının biyolojik olmayan bölümü artık makinenin fiyat performansı, hızı ve kapasitesindeki çift üstel büyümeden yararlanmayı sürdürebilecek.
- Makineler tıpkı insanlar gibi, ama insanlardan çok daha hızlı ve büyük kapasitelerle, teknolojiyi tasarlama ve kurma yeteneğini elde ettiklerinde de kendi tasarımlarına (kaynak kod) eri-

---

31 *Bkz.* John H. Byrne, "Propagation of the Action Potential," *Neuroscience Online*, https://oac22.hsc.uth.tmc.edu/courses/nba/s1/i3-1.html: "Sinirlerin eylem potansiyelinin yayılım hızı, saniyede 100 metreden (saatte bir kilometre) saniyede bir metrenin onda birinin (saatte 10 metre) altına kadar değişebilir." *Ayrıca bkz.* Kenneth R. Koehler, "The Action Potential," http://www.rwc.uc.edu/koehler/biophys/4d.html: "Memelilerin motor sinirlerinin yayılım hızı saniyede 10–120 metreyken, miyelin tabakasıyla kaplı olmayan duyu nöronları için bu saniyede 5–25 metredir (miyelin tabakasıyla kaplı olmayan nöronlar, ani yükselmeler göstermeden süreklilik gösteren biçimde atış yapar; iyon sızıntısı etkili tam devrelere izin verir ancak yayılım hızını yavaşlatır)."

şebilecek ve bunları kontrol edebileceklerdir. Bugün insanlar, biyoteknoloji yoluyla benzer bir şeyi (biyolojimizin temelinde bulunan genetik ve diğer bilgi süreçlerini değiştirmeği) başarmakta, ancak bunu, makineler kendi programlarını değiştirmeği başardıklarında gerçekleştirebileceklerinden çok daha yavaş ve fazlasıyla sınırlı bir biçimde yapabilmektedirler.

- Biyoloji içsel sınırlamalara tabidir. Bunlar, yapısal olarak var olan, dışarıdan gelmeyen sınırlamalardır. Örneğin, her canlı organizmanın, katlanan tek boyutlu amino asit dizgelerinin oluşturduğu proteinlerle yapılması gereklidir. Protein tabanlı mekanizmalarda eksik olan, güç ve hızdır. Biyolojik beden ve beyinlerimizde bulunan organ ve sistemlerin tümünü çok daha yetkin biçimde yeniden oluşturabileceğiz.
- Dördüncü bölümde irdeleyeceğimiz gibi, insan zekâsı, daha önce kavrayabildiğimizin çok üzerinde, belli bir esnekliğe (yapısını değiştirebilme yeteneğine) sahip. Fakat insan beyninin mimarisi yine de fazlasıyla sınırlıdır. Örneğin, her birimizin kafatasının içinde ancak yaklaşık yüz trilyon nöron arası bağlantıyı taşıyabilecek kadar yer vardır. İnsanlarda, primat atalarımıza kıyasla çok daha büyük zihinsel bir yeteneği hazırlayan kilit genetik değişim, daha büyük bir beyin korteksinin yanı sıra beynin belli bölgelerinde daha fazla gri madde dokusunun oluşmasıdır.[32] Ancak bu değişim, biyolojik evrimin çok

32 2002 yılında *Science* dergisinde yayımlanan bir araştırma, insanlarda beyin kabuğunun yatay gelişiminde beta katenin proteinin oynadığı rolü vurgulamaktadır. Bu protein, beyin kabuğunun kıvrılarak yarıkların oluşmasında asal bir rol oynar; gerçekten de beynin bu bölümünün yüzey alanını artırıp daha fazla nöron için yer açan da bu kıvrılmadır. Bu proteinin yüksek düzeyde ürediği farelerde, kontrollü denek farelerinin pürüzsüz ve düzgün beyin kabuklarına kıyasla çok daha buruşuk, kıvrımlı bir beyin kabuğu oluşmuştur. Anjen Chenn ve Christopher Walsh, "Regulation of Cerebral Cortical Size by Control of Cell Cycle Exit in Neural Precursors," *Science* 297 (Temmuz 2002): 365–69.

2003 yürütülen yapılan insanlar, şempanzeler ve rhesus makaklarında beyin kabuğunun gen ekspresyon profillerinin kıyaslaması, beynin düzen ve kavrayışıyla ilgili olan genlerin yalnız doksan birinde ekspresyon farklılığını ortaya koymuştur. Çalışmanın müellifleri, bu farklılığın yüzde doksanının yukarı düzenleme (daha fazla etkinlik) olduğunu şaşırarak görmüşlerdir. *Bkz.* M. Cacares vd, "Elevated Gene Expression Levels Distinguish Human from Non-human Primate Brains," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100.22 (28 Ekim 2003): 13030–35.

yavaş ilerleyen zaman ölçeğinde oluşmuştur, hâlâ da beynin kapasitesine içsel bir kısıtlama uygulamaktadır. Makineler kendi tasarımlarını yeniden formülleştirip, kendi kapasitelerini sınırsız biçimde artırabilecekler. Nano teknoloji tabanlı tasarımların kullanılmasıyla, boyut ya da enerji tüketimi artırılmaksızın, makinelerin yetenekleri biyolojik beyinlerinkinin çok ötesine geçecek.

- Makineler, çok hızlı üç boyutlu moleküler devrelerden de yararlanacaklardır. Bugünün elektronik devreleri, memelilerin beyinlerinde kullanılan elektrokimyasal anahtarlamadan bir milyon kez daha hızlıdır. Yarının moleküler devreleri, on atom genişliğinde ve günümüzün silikon tabanlı transistörlerinden beş yüz kez daha küçük, minik karbon atom silindirleri olan nanotüpler gibi aygıtlara dayanacak. Bu sinyallerin kat etmeleri gereken yol daha kısa olduğu için de bugünün çiplerinin birkaç gigahertzlik (saniyede milyarlarca işlem) hızına

---

Bununla birlikte, California Üniversitesi, Irvine Tıp Fakültesi araştırmacıları beynin belirli bölgelerindeki gri yapının, genel olarak beyin büyüklüğünden daha fazla zekâ katsayısıyla bağlantılı olduğunu, beynin gri yapısının yalnızca yüzde 6'lık bölümünün zekâ katsayısıyla ilişkili gibi göründüğünü bulmuşlardır. Çalışma ayrıca, zekâyla ilişkili bu bölümlerin bütün beyne yayılmış olması nedeniyle ön lob gibi tek bir "zekâ merkezinin" olmasının olasılık dışı olduğunu ortaya çıkarmıştır. *Bkz.* "Human Intelligence Determined by Volume and Location of Gray Matter Tissue in Brain," California Üniversitesi, Irvine basın bülteni (19 Temmuz 2004), http://today.uci.edu/news/release_detail.asp?key=1187.

2004 yılında yapılan bir çalışma, insanın sinir sisteminin genlerinin insan olmayan primatlara göre daha yüksek bir ivmeyle evrildiğini, genelde tüm primatların da diğer memelilere göre daha yüksek bir ivmeyle evrildiğini bulmuştur. Steve Dorus vd, "Accelerated Evolution of Nervous System Genes in the Origin of Homo Sapiens," *Cell* 119 (29 Aralık 2004): 1027–40. Baş araştırmacı Bruce Lahn bu bulguyu şöyle betimlemektedir: "İnsanlar zihinsel yeteneklerini birkaç rastlantısal değişinim sonucunda değil, daha karmaşık zihinsel yetenekleri destekleyen olağanüstü yoğun bir seçimle edinilen sonsuz sayıda değişinim yoluyla geliştirmişlerdir." Catherine Gianaro, *University of Chicago Chronicle* 24.7 (6 Ocak 2005).

Kas lifi geni MYH16'nın geçirdiği tek bir değişinimin insanların daha büyük bir beyne sahip olmasını sağlayan değişimlerden biri olduğu ortaya atılmıştır. Bu değişinim, insanın atalarının çenelerini, diğer büyük maymunlarda bulunan ve beynin boyutunu sınırlayan kas bağlantı noktalarına gereksinimleri olmayacak biçimde zayıflatmıştır. Stedman vd, "Myosin Gene Mutation Correlates with Anatomical Changes in the Human Lineage," *Nature* 428 (25 Mart 2004): 415–18.

karşın, terahertz (saniyede trilyonlarca işlem) hızlarda çalışabilecekler.

- Teknolojik değişimin hızı, insanın zihinsel hızlarıyla sınırlı olmayacak. Makine zekâsı kendi yeteneklerini, insan zekâsının destek olmadan tek başına izleyemeyeceği bir geribildirim döngüsünde geliştirecek.
- Makine zekâsının kendi tasarımını böylece yinelenen biçimde geliştirmesinin döngüsü giderek hızlanacak. Gerçekte bu, tam da paradigma değişim hızının kesintisiz ivmesini sağlamak için formülün öngördüğü şeydir. Paradigma değişimlerindeki hızlanmanın sürekliliğine karşı öne sürülen görüşlerden biri, değişimin sonunda insanların izleyemeyeceği kadar hızlanacağı, bu nedenle de olamayacağıdır. Bununla birlikte, biyolojik zekâdan biyolojik olmayan zekâya değişim, eğilimin sürmesini sağlayacaktır.
- Biyolojik olmayan zekâ döngüsünün ivmelenen gelişimiyle birlikte nano teknoloji, fiziksel gerçekliğin moleküler düzeyde yönlendirilmesini sağlayacaktır.
- Nano teknoloji, nanobotların, yani molekül ölçeğinde tasarlanmış, "respirositler" (yapay alyuvarlar) gibi mikronlarla (metrenin milyonda biri) ölçülebilen robotların tasarımını mümkün kılacak.[33] Nanobotlar insan bedeninde, (genetik mühendisliği gibi biyoteknolojiler henüz gerçekleştirememiş olsalar bile) yaşlanmayı tersine çevirme dahil, sınırsız rol üstlenecekler.
- Nanobotlar, biyolojik nöronlarla etkileşime girip, sanal gerçekliği sinir sisteminin içinden yaratarak insan deneyimini büyük ölçüde genişletecekler.
- Beynin kılcallarındaki milyarlarca nanobot da insan zekâsını büyük ölçüde genişletecektir.
- Biyolojik olmayan zekâ insan beyninde bir tutunma noktası bulmaya görsün (bilgisayarlı nöron nakliyle bu zaten başla-

---

33 Robert A. Freitas Jr., "Exploratory Design in Medical Nanotechnology: A Mechanical Artificial Red Cell," *Artificial Cells, Blood, Substitutes, and Immobil, Biotech* 26 (1998): 411–30; http://www.foresight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html; ayrıca *bkz.* Nanotıp Sanat Galerisi'nin görüntüleri (http://foresight.org/Nanomedicine/Gallery/Species/Respirocytes. html) ve ödüllü respirosit animasyonu (http://www.phleschbubble.com/albul/beyondhuman/respirocyte01.htm).

mıştır), beynimizdeki makine zekâsı, gücünü her yıl en az ikiye katlayarak (başından beri olduğu gibi) üstel hızda büyüyecektir. Biyolojik zekâ ise, aksine, gerçekte değişmez kapasiteye sahiptir. Böylelikle zekâmızın biyolojik olmayan bölümü sonuçta ağır basacaktır.

- Nanobotlar, kendilerinden önceki endüstrileşmeden kaynaklanan kirlenmeyi tersine çevirerek çevreyi de geliştirecekler.
- Görüntü ve ses dalgalarını yönlendirebilen "sisçik" adı verilen nanobotlar, sanal gerçekliğin biçim değiştirme niteliklerini gerçek yaşama kazandıracaklardır.[34]
- Duyguları doğru biçimde anlayıp onlara doğru karşılıkları verme yeteneği (duygusal zekâ), insan zekâsının geleceğin makine zekâsının anlayıp ustalaşacağı davranışlarından biridir. Kimi duygusal tepkimiz, sınırlı ve kırılgan biyolojik bedenlerimizin koşullarına göre zekâmızı en etkin biçimde kullanmaya uyum sağlar. Dünyayla etkileşime girebilmesi için geleceğin makine zekâsının da "bedenleri" olacak (örneğin, sanal gerçeklikte sanal bedenler ya da sisçiklerin kullanımıyla gerçek gerçeklikteki izdüşümleri), ama nano mühendislik ürünü bu bedenler biyolojik insan bedenlerinden çok daha yetkin ve dayanıklı olacaktır. Böylelikle, geleceğin makine zekâsının kimi "duygusal" tepkisi, onların çok gelişmiş fiziksel yeteneklerini yansıtmak üzere yeniden tasarlanacak.[35]

---

34 Sisçikler, nano teknolojinin öncüsü, Rutgers profesörlerinden olan J. Storrs Hall'un oluşturduğu bir kavramdır. Ortaya koyduğu tanımdan küçük bir bölüm: "Nano teknoloji, minik, kendi kendine çoğalan robotlar düşüncesine dayanır. Sis Kümesi, bu düşüncenin oldukça basit bir uzantısıdır: İstediğiniz bir nesneyi teker teker atomlarla oluşturmak yerine bu küçük robotların [sisçiklerin] el ele tutuşup, o istediğiniz nesnenin biçimine göre sert bir kütle oluşturduğunu varsayın. Daha sonra, bu avangard kahve sehpasından sıkıldığınızda da robotlar yalnızca yerlerini biraz değiştirerek sizin için Kraliçe Anne dönemine ait bir parçayı oluşturabilirler." J. Storrs Hall, "What I Want to Be When I Grow Up, is a Cloud," *Extropy*, 3. ve 4. sayılar, 1994. Temmuz 2001 tarihinde KurzweilAI.net'de yayımlanmıştır: http://www.KurzweilAI.net/foglets. *Ayrıca bkz.* J. Storrs Hall, "Utility Fog: The Stuff That Dreams Are Made Of," *Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance* içinde, yay. haz. B. C. Crandall (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1996). 5 Temmuz 2001 tarihinde KurzweilAI.net'de yayımlanmıştır: http://www.KurzweilAI.net/utilityfog.

35 Sherry Turkle, yay. haz., "Evocative Objects: Things We Think With," yakında yayımlanacak.

- Sinir siteminin içinden gelen sanal gerçeklik, çözünürlük ve inandırıcılık bakımından gerçek gerçeklikle yarışmaya başladığında, deneyimlerimiz de giderek daha fazla sanal ortamlarda oluşmaya başlayacak.
- Sanal gerçeklikte hem fiziksel hem de duygusal olarak başka birisi olabiliriz. Gerçekte diğer insanlar (örneğin sevgiliniz), sizin için, sizin kendiniz için seçeceğinizden farklı bir beden seçebilecekler (ya da siz onlar için farklı bir beden seçebileceksiniz).
- İvmelenen getiriler yasası, biyolojik olmayan zekânın, insan-makine zekâmızı kullanarak evrenin yakın çevremizdeki madde ve enerjisini "doygunluk" noktasına yaklaştırmasına kadar sürecektir. Doygunluktan kastım, bilgisayarlı işlem fiziğini anlayışımıza dayanarak, bilgisayarlı işlem için madde ve enerji örüntülerinin en elverişli düzeyde kullanılmasıdır. Biz bu sınıra yaklaştıkça, uygarlığımızın zekâsı da evrenin geri kalanına yayılarak yeteneklerini geliştirmeyi sürdürecektir. Bu genişlemenin hızı, bilginin seyahat edebileceği en yüksek hıza çabucak erişecektir.
- Sonuçta, zekâmız tüm evrene işleyecektir. Bu, evrenin yazgısıdır (*bkz.* altıncı bölüm). Yazgımızın belirlenmesini, göksel mekanikleri yöneten şimdiki "akılsız," basit, makine benzeri güçlerin ellerine bırakmayıp, kendimiz belirleyeceğiz.
- Evrenin bu boyutta bir zekâya erişmesi için gereken süre, ışığın hızının değişmez bir sınırının olup olmamasına bağlıdır. Bu sınırdaki olası incelikli ayrıklıkların (ya da çıkış yollarının) belirtileri bulunmaktadır ki eğer bunlar varsa, uygarlığımızın bu gelecekte erişeceği engin zekâ, bunlardan tam anlamıyla yararlanabilecektir.

İşte Tekillik böyle bir şey. Kimileri bunu kavrayamayacağımızı, en azından var olan anlama düzeyimizle kavrayamayacağımızı söyleyecektir. Bu nedenle, olay ufkunun ötesine bakıp, bu ufkun ötesinde ne olduğunu bütünüyle algılayamayız. Bu dönüşüme Tekillik adını vermemizin bir nedeni de budur.

Kendi adıma, olası sonuçları üzerine yıllarca düşündükten sonra bile, bu olay ufkunun ötesine bakmanın, olanaksız olmasa

da zor olduğu sonucuna vardım. Yine de görüşüm, düşüncemizin önünde esaslı sınırlar olmasına karşın, Tekillikten sonraki yaşamın doğası hakkında anlamlı sözler söyleyebilecek düzeyde soyutlama gücüne sahip olduğumuzdur. En önemlisi, ortaya çıkacak zekâ, zaten şimdiden bir insan–makine uygarlığı olan insan uygarlığını temsil etmeyi sürdürecektir. Bir başka deyişle, geleceğin makineleri, biyolojik olmasalar da insan olacaktır. Bu, evrimde sonraki adımı, sonraki üst düzey paradigma değişimini, sonraki dolaylama düzeyini oluşturacaktır. Uygarlığımızın zekâsı sonuçta büyük ölçüde biyolojik olmayan zekâdan oluşacaktır. Biyolojik olmayan zekâ, bu yüzyılın sonunda insan zekâsından trilyon kere trilyon kat daha güçlü olacaktır.[36] Ancak, sıklıkla dile getirilen kaygıları yanıtlayacak olursak, evrimsel üstünlük tahtından indirilmiş de olsa, bu, biyolojik zekânın sonu anlamına gelmemektedir. Biyolojik olmayan biçimler bile biyolojik tasarımlardan türetilecektir. Uygarlığımız insan olarak kalacak; hatta bu terimi anlayışımız, onun biyolojik kökeninin ötesine geçecek olsa da, insan olarak düşündüğümüzü birçok bakımdan bugünkünden çok daha fazla temsil edecektir.

Birçok gözlemci, insan zekâsından üstün ve biyolojik olmayan zekâ biçimlerinin ortaya çıkışıyla alarma geçmiştir (bu, dokuzuncu bölümde daha ayrıntılı irdeleyeceğimiz bir konu). Başka düşünce alt katmanlarıyla yakın bağlantı kurarak kendi zekâmızı daha değerli kılma potansiyeli bu kaygıyı kuşkusuz hafifletmez; kaldı ki bazı insanlar entelektüel besin zincirinin tepesindeki yerlerini korurken, aynı zamanda "gelişmemiş" olarak kalmak istediklerini dile getirmişlerdir. Biyolojik insanlık açısından bu süper–insan

36 *Bkz.* ikinci bölümdeki "Bilgi İşlemin Üstel Büyümesi" başlıklı şekil (s. 55). Bilgi işlemin fiyat performansının çift üstel büyümesini yirmi birinci yüzyılın sonuna uygularsak, bilgisayarla yapılan bin dolar değerindeki işlemle saniyede 10^{60} hesap (cps) yapılabilecektir. İkinci bölümde irdeleyeceğimiz gibi, insan beyninin işlevsel olarak benzerini yapabilmek için gereken işlem miktarı üzerinde yürütülen üç farklı analiz, 10^{15} cps tahminini ortaya koymuştur. Sinaps ve dendritlerin her birindeki doğrusalsızlıkların uyarılması gerekeceğini varsayan daha temkinli bir tahmin, insan beyninin nöromorfik benzeri için 10^{19} cps gerekeceği sonucunu vermiştir. Daha temkinli rakamı aldığımızda bile yaklaşık 10^{10} insan için 10^{29} cps buluruz. Böylece, 2099 yılı dolaylarında bin dolar karşılığında satın alınabilecek 10^{60} cps, 10^{31} (on milyon trilyon trilyon) insan uygarlığını ifade edecektir.

zekâları, gereksinimlerimizi ve arzularımızı karşılayacak sadık hizmetlilerimizmiş gibi görünürler. Ancak, saygın bir biyolojik mirasın isteklerini karşılamak, Tekilliğin getireceği zihinsel gücün yalnızca önemsiz bir bölümünü kapsayacaktır.

2004 dolaylarında Molly: *Tekilliğin gerçekleşmek üzere olduğunu nasıl anlayacağım? Demek istediğim, hazırlanmak için zamanım olsun istiyorum.*

Ray: *Neden, ne yapmayı planlıyorsun?*

Molly 2004: *Başlangıç olarak, özgeçmişime ince ayar yaparım. Geçerli güçler üzerinde iyi izlenim bırakmak isterim.*

2048 dolaylarında George: *Öyle mi, bunu senin için yapabilirim.*

Molly 2004: *Buna gerçekten gerek yok. Kendim pekâlâ yapabilirim. Birkaç belgeyi de silmek isteyebilirim. Yani, tanıdığım birkaç makineyi aşağıladıklarımı.*

George 2048: *Ooo, makineler onu her şekilde bulacaklardır. Ama canını sıkma, biz çok anlayışlıyız.*

Molly 2004: *Her nedense, bu tam anlamıyla inandırıcı değil. Ama yine de belirtilerin neler olacağını bilmek isterim.*

Ray: *Peki, gelen kutunda bir milyon e-posta olduğunda Tekilliğin geldiğini anlayacaksın.*

Molly 2004: *Hımm, bu durumda, çok yaklaştık gibi görünüyor. Ama cidden, şu an bile üzerime doğru uçuşan tüm bu şeylerle baş etmekte zorlanıyorum. Tekilliğin hızına nasıl ayak uyduracağım?*

George 2048: *Sanal yardımcıların olacak. Aslında yalnızca bir yardımcı gerekecek.*

Molly 2004: *Sanırım bu sen olacaksın?*

George 2048: *Hizmetinizdeyim.*

Molly 2004: *Hah, harika. Her şeyi sen halledeceksin, bana bilgi vermen bile gerekmeyecek. "Molly'ye anlatmakla uğraşma, nasıl olsa anlamayacak, biz yalnızca onun mutlu olmasını sağlayıp, karanlıkta tutalım."*

George 2048: *Hayır, öyle değil, hiç değil.*

Molly 2004: *Yani mutluluk kısmı?*

George 2048: *Seni karanlıkta tutmaktan söz ediyordum. Eğer istediğin gerçekten buysa, benim neyin peşinde olduğumu kavrayacaksın.*

Molly 2004: *Nasıl, ne olarak...*

Ray: *Gelişerek?*

Molly 2004: *Evet, söylemeye çalıştığım buydu.*

George 2048: *Güzel, eğer ilişkimiz olabileceğinin en iyisi olacaksa kötü bir düşünce değil.*

Molly 2004: *Peki olduğum gibi mi kalmalıyım?*

George 2048: *Sana her koşulda sadık olacağım. Ama yalnız aşkın hizmetlinden daha fazlasını da olabilirim.*

Molly 2004: *Aslında "yalnız" aşkın hizmetlim olman kulağa pek kötü gelmiyor.*

Charles Darwin: *Araya girebilirsem... Makine zekâsı, insan zekâsının ilerisine geçtiğinde, kendinden sonra gelecek kuşağını da tasarlayabilmesi gerekir.*

Molly 2004: *Bu o kadar da tuhaf gelmiyor. Bugün makineler, makine tasarımı yapmak için kullanılıyor.*

Charles: *Evet ama 2004 yılında makineleri hâlâ insan tasarımcılar yönetiyor. Makineler bir kez insan düzeyinde çalışmaya başladıklarında, bu bir bakıma halkanın tamamlanması demek.*

Ned Ludd:[37] *İnsanlar da halkanın dışında kalacaklar.*

Molly 2004: *Yine de oldukça yavaş bir süreç olacaktır.*

Ray: *Hayır, hiç değil. Eğer biyolojik olmayan zekâ, insan beynine benzer biçimde yapılandırılmış, ama 2004 dolaylarındaki elektrik devrelerinde bile kullanılmış olsa, o nesne—*

---

37 Dokuma tezgahının ve on sekizinci yüzyılın erken dönemlerinin diğer tekstil otomasyon makinelerinin icadı, yüzyıllar boyunca sonraki kuşaklara güçlü aile şirketleri devrederek süregelen İngiliz dokumacılarının bu küçük ev endüstrilerinden elde ettikleri kazançlara zarar vermiştir. Ekonomik güç, dokumacı ailelerden makine sahiplerine geçmiştir. Söylentiye göre, Ned Ludd adındaki genç ve kıt akıllı bir delikanlı tamamen sakarlık sonucu tekstil fabrikasındaki iki makineyi bozmuştur. O noktadan sonra, ne zaman bir fabrika gerecinin gizemli bir biçimde bozulmuş olduğu fark edilse, suçlu olabileceği tahmin edilen herkes "ama bu Ned Ludd'un işi" diyecekti. 1812 yılında çaresiz dokumacılar gizli bir örgüt, bir kent gerilla ordusu kurdular. Fabrika sahiplerini tehdit edip taleplerde bulundular; birçoğu da bu tehdit ve isteklere uydu. Liderlerinin kim olduğu sorulduğunda da "Niye, tabii ki General Ned Ludd," diye yanıtladılar. Luddcular olarak tanınan bu grup ilk şiddet eylemlerini makinelere yöneltmişlerse de o yılın sonlarına doğru bir dizi kanlı çarpışma da patlak vermişti. Tory hükümetinin Luddculara gösterdiği hoşgörü sona erdi; akım, önde gelen üyelerinin tutuklanmaları ve asılmalarıyla yok olup gitti. Sürekli ve tutarlı bir akım yaratamamış olmalarına karşın Luddcular otomasyon ve teknoloji karşıtlığının güçlü bir simgesi olarak kalmıştır.

2104 dolaylarında Molly: *"Kadın" demek istiyorsun.*

Ray: *Evet, elbette... o kadın en azından bir milyon kat daha hızlı düşünebilir.*

Timothy Leary: *Böylece öznel zaman genişletilir.*

Ray: *Aynen.*

Molly 2004: *Çok öznel zaman var gibi geliyor. Siz makineler, bu kadarını ne yapacaksınız?*

George 2048: *Ah, yapacak çok şey var. Sonuçta, internette insanların sahip olduğu tüm bilgiye erişebiliyorum.*

Molly 2004: *Yalnızca insanların sahip olduğu bilgiye mi? Peki ya makinelerin sahip olduğu onca bilgi?*

George 2048: *Tümünü tek bir uygarlık olarak görmeyi yeğliyoruz.*

Charles: *Yani makineler kendi tasarımlarını geliştirebilecek gibi görünüyor.*

Molly 2004: *Ah, biz insanlar bunu yapmaya şimdi başlıyoruz.*

Ray: *Fakat sadece birkaç ayrıntıyı kurcalayabiliyoruz. Doğası gereği, DNA temeline dayanan zekâ o kadar yavaş ve kısıtlı ki.*

Charles: *Yani makineler kendinden sonraki kuşakları oldukça hızlı tasarlayacaklar.*

George 2048: *Doğru, 2048'de durum kesinlikle bu.*

Charles: *Ben de bu noktaya geliyordum, o zaman bu yeni bir evrim çizgisi.*

Ned: *Daha çok, belirsiz bir kaçış olgusu gibi duruyor.*

Charles: *Temelinde evrim budur.*

Ned: *Peki ya makinelerin atalarıyla etkileşimi? Demek istediğim, onların yoluna çıkmak istemezdim. 1800'lerin başında birkaç yıl boyunca İngiliz yetkililerden saklanmayı başardım ama bunun bu...*

George 2048: *Arkadaşlar.*

Molly 2004: *Bu küçük robotlardan saklanmak—*

Ray: *Nanobotlar, demek istiyorsun.*

Molly 2004: *Evet, bu nanobotlardan saklanmak kesinlikle daha zordur.*

Ray: *Tekillikten doğacak zekânın, biyolojik mirasına çok saygı duymasını beklerim.*

George 2048: *Kesinlikle, saygı duymaktan da öte... yüceltme.*

Molly 2004: *Bu harika George, ben senin saygı duyulan evcil hayvanın olacağım. Bunu düşünmemiştim.*

Ned: *Tam da Ted Kaczynski'nin söylediği gibi: Hepimiz evcil hayvanlara dönüşeceğiz. Bu bizim yazgımız, hoşnut evcil hayvanlar olmak... Ama kesinlikle özgür insanlar değil.*

Molly 2004: *Peki ya bu Altıncı Evre? Eğer biyolojik bir varlık olarak devam edersem, tüm bu değerli madde ve enerjiyi verimsiz kullanmış olurum. Benden, her biri benim şimdi düşünebildiğimden çok daha hızlı düşünebilen, bir milyar sanal Molly ve George gibi bir şey olmamı bekleyeceksiniz. Öbür tarafa geçmek için çok fazla baskı olacak gibi görünüyor.*

Ray: *Yine de, sen var olan madde ve enerjinin yalnızca çok küçük bir parçasını temsil ediyorsun. Senin biyolojik olarak kalman, Tekilliğin elindeki madde ve enerjinin büyüklük kertesini pek fazla değiştirmeyecektir. Biyolojik mirasını korumaya fazlasıyla değer.*

George 2048: *Kesinlikle.*

Ray: *Tıpkı bugün yağmur ormanlarını ve türlerin çeşitliliğini korumaya çalıştığımız gibi.*

Molly 2004: *Korktuğum şey tam da buydu. Demek istediğim, yağmur ormanlarında öylesine harika bir iş çıkarıyoruz ki. Sanırım, hâlâ elimizde küçük bir parçası var. Sonumuz soyu tükenmekte olan türler gibi olacak.*

Ned: *Ya da tükenmiş olanlar gibi.*

Molly 2004: *Üstelik yalnız ben değilim. Kullandığım bunca eşya ne olacak? Elimden o kadar çok şey geçiyor ki.*

George 2048: *Bu sorun değil, eşyalarını dönüştürüp yeniden değerlendireceğiz. Gereksinim duyduğunda, ortamları sana gerektiği gibi oluşturacağız.*

Molly 2004: *Ah, ben sanal gerçeklikte mi olacağım?*

Ray: *Hayır, aslında sisçik gerçekliğinde.*

Molly 2004: *Ben sisin içinde mi olacağım?*

Ray: *Yok, hayır, sisçik.*

Molly 2004: *Efendim?*

Ray: *Sonra kitapta anlatırım.*

Molly 2004: *Peki, bir ipucu ver bari.*

Ray: *Sisçikler nanobot, yani bir kan hücresi büyüklüğünde robotlar. Bunlar birbirlerine bağlanarak herhangi bir fiziksel yapının kopyasını yapabilirler. Dahası, görsel ve işitsel bilgiyi, sanal gerçekliğin biçimi dönüştürebilen niteliklerini, gerçek gerçekliğe getirebilecek şekilde yönlendirebilirler.*[38]

---

38 *Bkz.* 34. not.

Molly 2004: *Keşke sormasaydım. Ama düşünüyorum da, yalnızca eşyalarımdan fazlasını isterim. Tüm hayvanları ve bitkileri de isterim. Teker teker görüp dokunamasam da her birinin orada olduğunu bilmek isterim.*

George 2048: *Ama hiçbir şey yok olmayacak.*

Molly 2004: *Biliyorum, bunu söylüyorsun. Ama demek istediğim, orada, yani biyolojik gerçeklikteki gibi.*

Ray: *Aslında, yaşamkürenin tamamı güneş sistemindeki madde ve enerjinin milyonda birinden az.*

Charles: *Çok fazla karbon içeriyor.*

Ray: *Bir şey yitirmediğimize emin olmak için tamamını sürdürmekte yine de yarar var.*

George 2048: *Birkaç yıldır süregelen ortak görüş de bu.*

Molly 2004: *Yani temelde ihtiyacım olan her şeyi parmaklarımın ucunda mı bulacağım?*

George 2048: *Doğru.*

Molly 2004: *Kral Midas gibi. Biliyorsunuz, dokunduğu her şey altına dönüşüyordu.*

Ned: *Evet, anımsayacağın gibi sonunda da açlıktan öldü.*

Molly 2004: *Eh, eğer sonuçta diğer tarafa geçersem, bütün o sonsuz öznel zamanla sanırım can sıkıntısından patlarım.*

George 2048: *Aa, bu asla olamaz. Olmamasını sağlayacağım.*

İkinci Bölüm

TEKNOLOJİ EVRİMİ ÜZERİNE BİR KURAM: İVMELENEN GETİRİLER YASASI

Ne kadar geriye bakarsan o kadar ileriyi görebilirsin.

—Winston Churchill

İki milyar yıl önceki atalarımız mikroplardı; yarım milyar yıl önce balık; yüz milyon yıl önce fareye benzer bir şey; on milyon yıl önce ağaç maymunları; bir milyon yıl önce de ateşin nasıl evcilleştirilebileceğini çözmeye çalışan proto–insanlardı. Evrimsel soy ağacımız, değişimi nasıl özümlediğimize göre belirlenmiştir. Günümüzde ise bu hız artmaktadır.

—Carl Sagan

Tek sorumluluğumuz, bizden daha akıllı olan bir şey üretmektir. Bunun ötesindeki herhangi bir sorunu çözmek *bizim* işimiz değildir... Zor sorun yoktur, yalnızca belli bir zekâ düzeyine zor gelen sorun vardır.

[Zekâ düzeyini] bir parça yükseltin, birtakım sorunlar bir anda "olanaksız" olmaktan çıkıp "apaçık" olacaktır. Kayda değer derecede yükseltin, her şey apaçık olacaktır.

—Eliezer S. Yudkowsky, *Staring Into The Singularity* [*Tekilliğe Bakarken*], 1996

"Gelecek öngörülemez" düşüncesi hep bir ağızdan söylenen bir nakarattır... Ama... [bu bakış acısı] yanıldığında tam anlamıyla yanılmış olur.

—John Smart[1]

1 John Smart, Washington, D.C., 3 Ağustos 2004'te Dünya Fütüristler Birliğinin yıllık toplantısında yaptığı "Understanding Evolutionary Development: A Challenge for Futurists" adlı sunumun özeti.

Teknolojinin süregelen ivmesi, benim ivmelenen getiriler yasası adını verdiğim, bir evrim sürecinin ürünlerinin ortaya çıkış hızındaki ivmelenmeyi ve bu ürünlerdeki üstel gelişmeyi niteleyen şeyin gereği ve kaçınılmaz sonucudur. Bu ürünler, özellikle bilgi işlem gibi bilgiye ilişkin teknolojileri kapsamaktadır; söz konusu üstel gelişme ise Moore Yasası olarak bilinen yasanın öngörülerinin çok ötesine uzanmaktadır. Tekillik, ivmelenen getiriler yasasının önlenemez sonucudur; bu nedenle, bu evrim surecinin doğasını incelememiz önemlidir.

Düzenin Doğası. Önceki bölümde, paradigma değişimindeki ivmelenmeyi gösteren bazı grafikler verildi. (Paradigma değişimleri, yöntemler ve zihinsel süreçlerin uygulanmasındaki başat değişimlerdir; bunlara örnek, yazılı dil ve bilgisayardır.) Verilen grafikler, on beş düşünür ile başvuru yapıtının, Büyük Patlamadan internete kadar gelişen biyolojik ve teknolojik evrimde gördükleri en önemli olayları özetlemektedir. Beklendiği gibi bazı farklılıklar görülmekle birlikte, üstel eğilim çok nettir: Kilit olaylar, giderek yükselen bir hızla ortaya çıkmaktadır.

Neyin "kilit olay" olduğunun ölçütü, bir düşünürden diğerine farklılık göstermektedir. Ancak bu düşünürlerin seçimlerini yaparken benimsedikleri ilkeler, üzerinde düşünmeye değerdir. Kimi gözlemci, biyoloji ile teknolojinin tarihinde gerçek anlamda çığır açan gelişmelerin, karmaşıklığın artışını da yanında getirdiği kanısına varmıştır.[2] Artan karmaşıklık her ne kadar hem biyolojik hem de teknolojik evrimde ilerlemeyi izler gibi görünse de bu gözlemin tam olarak doğru olmadığına inanıyorum. Ama önce karmaşıklığın ne anlama geldiğini inceleyelim.

Karmaşıklık kavramının karmaşık olması şaşırtıcı değildir. Karmaşıklık tanımlarından biri, bir süreci temsil etmek için gereken minimum miktardaki bilgiyi esas alır. Elimizde, bir sistem için bir milyon bit içeren bir veri dosyasıyla tanımlanan bir tasarımın (örneğin, bir bilgisayar programı ya da bilgisayar için bilgisayar destekli tasarım dosyası) olduğunu düşünelim. Tasarı-

---

2 Evrimde çığır açan olayların karmaşıklık artışına yol açtığı görüşü Theodore Modis'e aittir. *Bkz.* Theodore Modis, "Forecasting the Growth of Complexity and Change" *Technological Forecasting and Social Change* 69.4 (2002); http://ourworld.compuserve.com/homepages/tmodis/TedWEB.htm.

mınızın bir milyon bitlik bir karmaşıklığa sahip olduğunu söyleyebiliriz. Ama bu bir milyon bitin gerçekte, bin kez yinelenen bin bitlik bir örüntüden oluştuğunu fark ettiğimizi varsayalım. Yinelenme sayısını not edip, yinelenen örüntüleri çıkararak, örüntünün tamamını yalnızca bin bit ile ifade edebilir, böylece dosyanın boyutunu binde bir oranında küçültebiliriz.

En popüler veri sıkıştırma teknikleri, bilgideki artıklıkları saptamada benzer yöntemler kullanırlar.[3] Ancak, bir veri dosyası-

---

3 Dosya sıkıştırma, hem veri iletiminin (internet üzerinden müzik ya da metin dosyası iletimi gibi) hem de veri saklamanın kilit unsurlarından biridir. Dosya boyutu ne kadar küçükse, dosyanın iletimi için gereken süre o kadar kısadır, dosyayı saklamak için gereken yer de o kadar azdır. Çoğu kez bilgi kuramının babası olarak anılan matematikçi Claude Shannon, *The Bell System Technical Journal* 27 (Temmuz–Ekim 1948): 379–423, 623–56'de yayımlanan "A Mathematical Theory of Communication" adlı makalesinde veri sıkıştırmanın temel kuramını tanımlamıştır. Veri sıkıştırma, artıklık (yineleme) ve veride karakter kombinasyonlarının görülme olasılığı gibi unsurlar sayesinde mümkün olmaktadır. Örneğin, bir ses dosyasındaki sessizliğin yerine sıkıştırılmış dosyada bu sessizliğin süresini belirten bir değer, bir metin dosyasındaki harf kombinasyonlarının yerine de kodlanmış tanıtıcılar konabilir.

Artıklık, Shannon'un açıkladığı gibi, kayıpsız sıkıştırmayla, yani bilgi kaybına neden olmadan ortadan kaldırılabilir. Kayıpsız sıkıştırmanın, Shannon'un entropi oranı adını verdiği oranla belirlenen bir sınırı vardır (sıkıştırma, verinin "entropisini," yani önceden belirlenmiş, bu nedenle de öngörülebilir veri yapılarına karşı barındırdığı gerçek bilgi miktarını artırır). Veri sıkıştırma, verideki artıklığı ortadan kaldırır; kayıpsız sıkıştırma ise bunu veriyi yitirmeden (bir başka deyişle, orijinal veriyi tam olarak geri getirebilecek biçimde) yapar. Buna karşın, çizge dosyaları ya da duraksız video ve ses dosyalarında kullanılan kayıplı sıkıştırma, bizim duyularımızın algılayamadığı kadar küçük de olsa bilgi yitimine neden olur.

Çoğu veri sıkıştırma tekniği, bir kod alfabesinin kaynağındaki temel birimlerin (ya da simgelerin) eşlemi olan bir kod kullanır. Örneğin, bir metin dosyasında bulunan boşlukların tümünün yerine tek bir kod sözcüğü ve boşlukların sayısı yazılabilir. Eşlemeyi düzenleyerek, ardından da kod alfabesi kullanarak yeni bir dosya oluşturmak için bir sıkıştırma algoritması kullanılmakta; böylece sıkıştırılan dosya orijinalinden daha küçük olmakta, dolayısıyla iletimi ya da saklanması da kolaylaşmaktadır. Yaygın kayıpsız sıkıştırma tekniklerinin karşıladığı kategorilerden bazıları şunlardır:

- Çalışma uzunluğu sıkıştırması, yinelenen karakterlerin yerine o karakterin kaç kez yinelendiğini belirten bir kod ve bir değer koyar (örnek: Paket Bit ve PCX).
- En sık kullanılan simgelerin en kısa kodları aldığı, olasılığa dayalı olarak kod atayan minimum artıklık kodlaması ya da basit entropi kodlaması (örnek: Huffman kodlaması ve aritmetik kodlama).

nı bu şekilde sıkıştırdıktan sonra o dosyayı daha da küçültmenizi sağlayacak başka kural ya da yöntemlerin bulunmayacağından tam olarak emin olabilir misiniz? Örneğin, elimdeki dosyanın yalnızca bir milyon bitlik bir kesinlikle ifade edilen bir "pi" sayısı (3,1415...) olduğunu varsayalım. Çoğu veri sıkıştırma programı bu dizilimi tanıyamayacak, pi sayısının ikili anlatımındaki bitler fiilen rastgele oldukları, bu nedenle de tüm rastgelelik testlerine göre yinelenen örüntü taşımadıkları için, bu milyon biti hiçbir biçimde sıkıştırmayacaktır.

Ama bu dosyanın (ya da dosyanın bir bölümünün) gerçekten pi sayısını gösterdiğini belirleyebilirsek, bu dosyayı (ya da dosyanın o bölümünü) kolaylıkla "pi üzeri bir milyon bitlik kesinlikle" küçülterek ifade edebiliriz. Bir bilgi diziliminin daha yoğun bir gösterimini gözden kaçırmadığımıza hiçbir zaman emin olamayacağımız için, herhangi bir düzeydeki sıkıştırma yalnızca bilgi karmaşıklığının bir üst sınırını koyacaktır. Murray Gell–Mann, karmaşıklığın bu çizgideki bir tanımını vermektedir. Gell–Mann, bir bilgi kümesinin "algoritmik bilgi içeriğini," "standart bir evrensel bilgisayarın bit dizisini yazdırdıktan sonra durmasını sağlayacak en kısa programın uzunluğu" olarak tanımlamaktadır.[4]

Ancak, Gell–Mann'ın ortaya koyduğu kavram tam olarak yeterli değildir. Elimizde rastgele bilgi içeren bir dosya varsa, bu dosya sıkıştırılamaz. Bu gözlem, temelde bir sayı sıralamasının gerçekten rastgele olup olmadığını belirleyecek kilit ölçüttür. Ancak, eğer, belli bir tasarım için *herhangi* bir rastgele sıralama yeterli olacaksa, o zaman bu bilgi, "sayıların rastgele sıralamasını buraya koy" gibi basit bir komutla tanımlanabilir. Böylece rastgele sıralama, basit bir komutla tanımlandığından, ister on bit olsun ister bir milyon bit, önemli boyutta bir karmaşıklığı gösterme-

- Örüntüleri belirtmek için dinamik olarak güncellenen bir simge sözlüğü kullanan sözlük kodlayıcılar (örnek: Lempel–Ziv, Lempel–Ziv–Welch, DEFLATE).
- Bir kod alfabesi kullanmak yerine karakterleri yeniden düzenleyen sıkıştırma tekniği olan blok sıralama; ardından yinelenen dizgileri sıkıştırmak için çalışma uzunluğu sıkıştırması kullanılabilir (örnek: Burrows–Wheeler dönüşümü).
- Dosyadaki izleyen simgenin hangi sıklıkta yer aldığını öngörmek için sıkıştırılmamış dosyada bir simge kümesi kullanan kısmi eşlemle öngörü.

4 Murray Gell–Mann, "What Is Complexity?" *Complexity* içinde, cilt 1 (New York: John Wiley and Sons, 1995).

yecektir. Rastgele sıralama ile bir amacı olan ve öngörülemeyen bilgi sıralaması arasındaki fark budur.

Karmaşıklığın doğasını biraz daha iyi kavrayabilmek için, bir kaya parçasının karmaşıklığını düşünün. Bu kaya parçasındaki her atomun tüm özelliklerini niteleyecek olsaydık, elimizde aşırı miktarda (tam konumu, açısal devinirliği, devri, hızı vb) bilgi olurdu. Bir kiloluk bir kaya parçasında 10^{25} atom bulunur, bu da, sonraki bölümde irdeleyeceğim gibi, 10^{27} bitlik bilgi demektir. Bu, insanın genetik kodunda bulunan bilginin (genetik kodu sıkıştırmadan) yüz milyon kere milyar katı daha fazla bilgi demektir.[5] Ancak en genel anlamda, bunun büyük bölümü rastgele bilgidir, bir sonuca götürmez. Yani, yalnızca şeklini ve oluştuğu malzemenin türünü belirterek, birçok amaç için çok daha az bilgiyle kaya parçasını niteleyebiliriz. Sonuçta, her ne kadar kaya parçası kuramsal olarak çok daha fazla bilgi içerse de, sıradan bir kaya parçasının karmaşıklığının insanın karmaşıklığından çok daha az olduğunu düşünmek daha akılcıdır.[6]

Karmaşıklığın tanımlarından biri, bir sistemi ya da süreci nitelemek için gereken *anlamlı, rastgele olmayan ama öngörülemeyen* en az miktarda bilgidir.

Gell–Mann'ın tanımına göre, algoritmik bilgi içeriğinin bir milyon bitlik rastgele dizilimi, bir milyon bit uzunluğundadır. Bu nedenle Gell–Mann'ın tanımına, her rastgele dizinin yerine basit bir "rastgele bitleri buraya koy" komutu konması düşüncesini ekliyorum.

Ancak, bu bile yeterli değildir. Diğer bir konu, telefon defterindeki isimler ve telefon numaraları, radyasyon düzeyi ya da hava sıcaklığının düzenli aralıklarla ölçülmesi gibi duruma bağlı veri dizileriyle ortaya çıkmaktadır. Bu tür bilgi rastgele değildir, veri

5 Sıkıştırma olanağı göz önüne alınmazsa, insanın genetik kodunda ortalama altı milyar (yaklaşık 10^{10}) bit bulunur. Yani, kuramsal olarak bir kiloluk bir kaya parçasında saklanabilecek olan 10^{27} bit, genetik koddan 10^{17} kere daha büyüktür. Genom sıkıştırması konusu için *bkz.* aşağıdaki 57. not.

6 Elbette bir insan da çok fazla sayıda parçacıktan oluşmuştur; tüm parçacıkların özelliklerini göz önüne aldığımızda aynı ağırlıktaki bir kaya parçasınınkine kıyaslanabilecek miktarda bilgi içerir. Kaya parçasında olduğu gibi, bu bilginin çoğunluğu insanın durumunu nitelemek için gerekli değildir. Diğer yanda bir insanı nitelemek için, bir kayayı nitelemek için gerektiğinden çok daha fazla bilgi gerekir.

sıkıştırma yöntemleri bu veriyi yalnızca küçük bir oranda azaltabilecektir. Buna karşın, yaygın anlamıyla karmaşıklığı da temsil etmemektedir. Yalnızca veridir. Bu nedenle, "duruma bağlı veri dizisini buraya koy" işlemi için basit bir komuta daha ihtiyacımız vardır.

Bir bilgi kümesinin karmaşıklığının ölçümü için önerimi özetlemek gerekirse, önce Gell–Mann'ın tanımladığı biçimde algoritmik bilgi içeriğini ele alırız. Sonra, bir rastgele diziyi eklemek için her rastgele dizinin yerine basit bir komut koyarız. Sonra aynı şeyi duruma bağlı veri dizileri için yaparız. Böylece, sezgilerimize oldukça uygun bir karmaşıklık ölçümü elde ederiz.

Yukarıda tanımladığım biçimde, biyolojik süreç –ve devamında teknolojik süreç– gibi bir evrim sürecindeki her paradigma değişiminin aynı zamanda karmaşıklığın artışını temsil ettiğini söylemek doğru bir gözlem olur. Örneğin, DNA'nın evrimi, DNA molekülünün esnek veri belleğinin biyolojik bilgi süreçlerini kontrol edebildiği daha karmaşık organizmaların oluşmasına yol açmıştır. Kambriyen patlamanın, bir dizi değişmez hayvan beden planının (DNA anlamında) oluşmasını sağlamasıyla, evrim süreci de beyinde daha karmaşık oluşumlar üzerinde yoğunlaşabilmiştir. Teknoloji alanında bilgisayarın icadı, insan uygarlığının giderek daha karmaşık bilgi kümelerini saklamasının ve yönetmesinin yolunu açmıştır. İnternetin sunduğu kapsamlı bağlantı olanağı ise daha da büyük karmaşıklığı yönetmeyi mümkün kılmaktadır.

Ancak, "karmaşıklığın artması" kendi içinde bu evrim süreçlerinin son hedefi ya da son ürünü değildir. Evrimin sonucunda mutlaka daha karmaşık yanıtlar değil, *daha iyi* yanıtlar alınır. Daha üstün çözümün, bazen daha basit olması mümkündür. Buradan, başka bir kavrama gidelim: Düzen. Düzen, düzensizliğin karşıtıyla aynı şey değildir. Eğer düzensizlik, olayların rastgele sıralanışını gösteriyorsa, düzensizliğin karşıtının "rastlantısal olmayan" olması gerekirdi. Bilgi, bir organizmanın DNA kodu ya da bir bilgisayar programındaki bitler gibi, bir süreçte anlamı olan veri sıralamasıdır. Öte yandan, "gürültü," rastgele bir sıralamadır. Gürültü, doğası gereği öngörülemez, ama bilgi de içermez. Ancak bilgi de öngörülemez. Geçmiş verilerle geleceğe ait verileri öngörebilsek, geleceğe ait veriler bilgi olmaktan çıkar. Bu nedenle, ne

bilgiyi ne de gürültüyü sıkıştırmak (ve aynı sıralamayla geri getirmek) mümkündür. Öngörülebilir bir alternatif örüntüyü (örneğin, 0101010 gibi) düzenli olarak alabiliriz, ancak bu da ilk birkaç bitten sonra herhangi bir bilgi içermez.

Yani, düzenlilik, düzeni oluşturmaz, çünkü düzen bilgi gerektirir. *Düzen, bir amaca uygun bilgidir. Düzenin ölçüsü, bilginin amacına ne kadar uygun olduğunun ölçüsüdür.* Canlı türlerinin evriminde amaç, yaşamda kalmaktır. Örneğin, bir jet motorunun tasarımına uygulanan evrimsel bir algoritmanın (bir sorunu çözmek için evrimi harekete geçiren bir bilgisayar programı) amacı, motorun performansının, veriminin ve bazı diğer ölçütlerin en iyi hale getirilmesidir.[7] Düzeni ölçmek, karmaşıklığı ölçmekten daha zordur. Yukarıda belirttiğim gibi, karmaşıklığın ölçümü için öneriler bulunmaktadır. Düzen içinse her duruma göre uydurulması gereken bir "başarı" ölçümüne ihtiyacımız vardır. Evrimsel algoritmalar oluşturduğumuzda programcının ("fayda işlevi" adı verilen) böyle bir başarı ölçümünü vermesi gerekir. Teknolojinin gelişimindeki evrim sürecinde ekonomik başarının ölçümünü belirleyebiliriz.

Sadece daha fazla bilgiye sahip olmak mutlaka daha uygun bir sonucun elde edilmesi anlamına gelmez. Bazen daha derin bir düzen –amaca daha fazla uygunluk– karmaşıklıktaki artıştan çok yalınlaştırma yoluyla elde edilebilir. Örneğin, bambaşka oldukları çok belli düşünceleri birbirine bağlayarak daha kapsamlı, uyumlu bir kuramı oluşturan yeni bir kuram karmaşıklığı azaltır, ama yine de "bir amaca yönelik düzeni" artırabilir. (Bu durumda amaç, gözlemlenen olguyu kesin doğrulukla modellemektir.) Gerçekten de daha basit kuramlar elde etmek bilimdeki itici güçtür. (Einstein'ın dediği gibi, "Her şeyi mümkün olduğunca basit yap, ama daha basit yapma.")

Bu kavrama önemli bir örnek, insansı maymunların evrimindeki önemli bir adımdır: Çevrenin daha iyi kullanılmasını sağlayan başparmağın büküldüğü noktadaki değişim.[8] Şempanze gibi pri-

---

7 Genetik algoritmaların tanımı için *bkz.* beşinci bölümde 175. not.

8 İnsanlar, şempanzeler, goriller ve orangutanlar, bilimsel olarak insansı maymunlar (*büyük insansı maymunlar* ailesi) olarak sınıflandırılırlar. İnsanın soyağacının büyük akrabaları olan maymunların soyağacından bundan beş ile yedi milyon yıl önce farklılaştığı düşünülmektedir. İnsansı maymunlar

matlar nesneleri avuçlayabilir ama "güçlü kavramak" ya da yazmak veya nesneleri biçimlendirmek için gerekli küçük ölçekteki motor koordinasyonuyla nesneleri işleyemezler. Başparmağın bükülme noktasındaki değişim hayvanın karmaşıklığına hatırı sayılır bir artış getirmemiştir, ancak düzende bir artışı oluşturmuş, diğer şeylerin yanı sıra teknolojinin gelişimini de mümkün kılmıştır. Ancak evrim, daha fazla düzene yönelik genel eğilimin tipik olarak daha fazla karmaşıklıkla sonuçlandığını göstermiştir.[9]

üst ailesi içinde yer alan insan sınıfı *Homo, Homo erectus* gibi soyu tükenmiş cinsleri içerdiği gibi modern insanı *(Homo sapiens)* da içerir.

Şempanzelerin el parmakları insanın el parmaklarından daha uzun ve düzdür, başparmakları ise daha kısa, daha zayıftır, insanın başparmağı kadar hareketli de değildir. Şempanzeler sopa kullanabilirler ama kontrolü kaybetme eğilimindedirler. Elleriyle sıkıca kavrayamazlar çünkü başparmakları işaret parmaklarıyla kavuşmaz. Modern insanın başparmağı daha uzundur, parmakları merkezdeki bir eksene doğru döner, böylece bütün parmaklarının uçlarını başparmaklarına değdirebilir, bu da tam kavuşma diye adlandırılan özelliktir. Bu ve diğer bazı değişimler insanlara iki yeni nitelik kazandırmıştır: Kesinlik ile güç anlayışı. Etiyopya'daki Lucy adı verilen Australopithekin gibi üç milyon yıl kadar önce yaşadığı düşünülen en eski insansı maymunlar bile hızlı ve hedef alarak taş atabiliyorlardı. Bilim insanları, elin fırlatma ve sopayı kavrama yeteneğinin o dönemden bu yana gösterdiği sürekli gelişimin, bedenin diğer bölümlerinde buna bağlı olarak ortaya çıkan değişimlerle birlikte benzer büyüklük ve ağırlıktaki diğer hayvanlara göre belirgin avantajlar sağladığını savunmaktadırlar. *Bkz.* Richard Young, "Evolution of the Human Hand: The Role of Throwing and Clubbing," *Journal of Anatomy* 202 (2003): 165–74; Frank Wilson, *The Hand: How Its Use Shapes the Brain, Language, and Human Culture* (New York: Pantheon, 1998).

9 Santa Fe Enstitüsü, karmaşıklık ve yeni ortaya çıkan sistemlere ilişkin kavram ve teknolojilerde öncü rol oynamıştır. Kaos ve karmaşıklık paradigmalarını geliştiren en önemli isimlerden biri Stuart Kauffman'dır. Kauffman'ın *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity* (Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1995) adlı kitabı, "kaosun kıyısında duran düzeni oluşturan güçleri" ele alır.

Evolution of Complexity by Means of Natural Selection (Princeton: Princeton Üniversitesi Yayınları, 1988) adlı kitabında John Tyler Bonner şu soruları yöneltir: "Bir yumurta karmaşık bir yetişkine nasıl dönüşebilmektedir? Milyonlarca yılda da olsa, bir bakteri nasıl bir file evrilebilmektedir?"

Santa Fe Enstitüsünün yeni doğmakta olan karmaşıklık alanında çalışan önde gelen düşünürlerinden bir diğeri John Holland'dır. *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity* (Reading, MA: Addison-Wesley, 1996) adlı kitabı 1994 yılında Santa Fe Enstitüsünde verdiği bir dizi dersi içermektedir. *Ayrıca bkz.* John H. Holland, *Emergence: From Chaos to Order* (Reading, MA: Addison-Wesley, 1998) ve Mitchell Waldrop, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos* (New York: Simon & Schuster, 1992).

Dolayısıyla, bir sorunun çözümünün iyileştirilmesi –karmaşıklığı genelde artırsa da kimi zaman azaltabilir– düzeni artırır. Şimdi önümüzdeki konu sorunun tanımlanmasıdır. Gerçekten de bir evrim algoritmasının (ve genelde biyolojik ve teknolojik evrimin) anahtarı da tam olarak budur; yani sorunun tanımlanmasıdır (bu da fayda işlevini içerir). Biyolojik evrimdeki başat sorun her zaman yaşamda kalmaktır olmuştur. Ağır basan bu savaşım, ekolojik nişlerde belli türlerin uç ortamlarda yaşayabilmesi ya da kendilerini gizleyerek yırtıcı hayvanlardan korunabilmesi yeteneği gibi daha belirli amaçlara aktarılmış olarak karşımıza çıkar. Biyolojik evrimin insansılara doğru gelişmesiyle, amacın kendisi evrilmiş, zekâyla hasımlarının önüne geçme ve çevreyi buna göre değiştirme yeteneğini geliştirmiştir.

İvmelenen getiriler yasasının bu yönü, entropinin (kapalı bir sistemde rastgeleliğin) azalamayacağına ve dolayısıyla genellikle arttığına işaret eden termodinamiğin ikinci yasasıyla çelişir gibi görünebilir.[10] Ancak, ivmelenen getiriler yasası, kapalı bir sistem olmayan evrimle ilgilidir. Büyük bir kaosun ortasında yer alır ve tabii ki çeşitlilik seçeneklerini aldığı bu kaosun ortasındaki düzensizliğe dayanır. Evrim süreci de fazlalıkları elemek yoluyla bu seçeneklerden sürekli beslenerek daha fazla düzen yaratır. Belli aralarla Yeryüzüne çarpan büyük asteroitlerin yarattıklarına benzer bir kriz bile, kaosu geçici olarak artırmış da olsa, biyolojik evrimin oluşturduğu düzenin artmasıyla –derinleşmesiyle– sonuçlanır.

---

10 Termodinamiğin ikinci yasası, yakıtı kullanıp işe çevirirken yakıttan üretilen ısının (enerjinin) tamamını kullanabilen mükemmel bir motorun neden olmadığını açıklar: Ortaya çıkan enerjinin bir kısmı kaçınılmaz olarak çevreye verilerek kaybolacaktır. Aynı doğa ilkesi, ısının sıcak bir tencereden soğuk havaya doğru hareket edeceğini, tersinin oluşmayacağını söyler. Aynı ilke, kapalı ("yalıtılmış") sistemlerin zaman içinde kendiliklerinden daha düzensiz hale geleceğini –yani, düzenden düzensizliğe doğru hareket edeceklerini– de varsayar. Örneğin, buz parçalarındaki moleküllerin diziliş olasılıkları sınırlıdır. Bir bardağın içindeki buz parçacıklarının entropisi (düzensizliği), bu bardak oda sıcaklığında bekletildiğinde dönüşecekleri suyun entropisinden düşüktür. Bir bardak suyun moleküler diziliş olasılıkları buzunkinden çok daha fazladır; daha yüksek devinim serbestliği daha fazla entropiye eşittir. Entropiyi çokluk olarak da düşünmek mümkündür. Bir duruma ulaşmanın ne kadar fazla yolu varsa çokluk da o kadar yüksektir. Böylece, örneğin, düzensiz bir tuğla yığınının çokluğu (dolayısıyla entropisi) düzenli yerleştirilmiş bir tuğla yığınından yüksektir.

Özetlemek gerekirse, evrim düzeni artırır, düzen ise karmaşıklığı artırabilir ya da artırmayabilir (genellikle artırır). Evrimin – yaşam türlerinin ya da teknolojinin evriminin– hız kazanmasının başlıca nedeni, bilgiyi kaydedip yönetmek için giderek daha gelişmiş araçlar kullanarak kendi artan düzenine dayanmasıdır. Evrimin yarattığı yenilikler daha hızlı evrilmeyi teşvik eder ve mümkün kılar. Canlı türlerinin evriminde kayda değer ilk örnek, yeni deneyler başlatmak için yaşamın tasarımının, kullanılabilen, kayıtlı ve korunmuş kopyasını veren DNA'dır. Teknolojinin evriminde ise insanın bilgiyi kaydetmek için giderek daha fazla geliştirdiği yöntemler, teknolojide daha da büyük gelişmeleri beslemiştir. İlk bilgisayarlar kâğıt üzerinde tasarlanarak elle yapılmışlardı. Günümüzdeyse bilgisayarlar, bilgisayarlı iş istasyonlarında tasarlanıyor; kendilerinden sonraki kuşak tasarımları doğrudan bilgisayarlar planlıyor ve bunlar, insanın katılımını ancak sınırlı olarak gerektiren tam otomasyonlu fabrikalarda üretiliyorlar.

Teknolojinin evrim süreci, kapasiteleri üstel biçimde geliştirmektedir. Mucitler, güç ve yeteneği katlayarak geliştirmenin yollarını arıyorlar. Yenilik, katlanarak büyür, toplanarak değil. Herhangi bir evrim süreci gibi teknolojinin evrimi de kendi ilerleyişine dayanır. Bu özellik, teknolojinin Beşinci Evrede kendi ilerlemesi üzerinde tam denetim elde edene kadar ivmelenmeyi sürdürecektir.[11]

İvmelenen getiriler yasasının ilkelerini şöyle özetleyebiliriz:

- Evrim olumlu geribildirim kullanır: Evrimin ilerlemesinin bir aşamasından doğan yöntemlerden daha yetenekli olanlar sonraki aşamayı oluşturmak için kullanılır. Önceki bölümde belirtildiği gibi, evrimin her aşaması, kendinden önceki aşamanın ürünlerine dayanarak daha hızlı ilerlemiştir. Evrim, dolaylama yoluyla işler: Evrim insanları, insanlar da teknolojiyi yaratmıştır; şimdi ise insanlar giderek daha fazla gelişen teknolojiyi kullanarak yeni kuşak teknolojiyi oluşturmak için çalışıyorlar. Tekillik dönemine gelindiğinde, insanlarla tekno-

11 Max More, "gelişen teknolojilerin, ilerlemeyi daha da hızlandırmak için birleşmekte ve birbirlerini tohumlamakta" oldukları görüşünü ileri sürer. Max More, "Track 7 Tech Vectors to Take Advantage of Technological Acceleration," *ManyWorlds*, 1 Ağustos 2003.

loji arasında fark kalmayacaktır. *Bunun nedeni, insanların bugün makine olarak düşündüğümüz şeye dönüşmesi değil, makinelerin gelişerek insanlara benzeyip onların ötesine geçecek kadar ilerleyecek olmalarıdır.* Teknoloji, mecazi anlamda, evrimde bundan sonraki adımımızı sağlayacak karşılayıcı başparmak olacaktır. O zaman da ilerleme (düzendeki daha ileri artışlar), çok yavaş elektrokimyasal tepkimeler yerine, ışık hızında gerçekleşecek düşünce süreçlerine dayanacaktır. Evrimin her aşaması, bir önceki aşamanın meyvelerini toplar, böylece bir evrim sürecinin gelişme hızı zaman içinde en azından üstel olarak büyür. Zaman içinde evrim sürecine yerleşik bilginin "düzeni" (bilginin bir amaca –evrimde bu amaç yaşamda kalmaktır– ne kadar uygun olduğunun ölçümü) artar.

- Evrim süreci, kapalı bir sistem değildir; evrim, çeşitlilik seçeneklerini oluşturabilmek için, içinde yer aldığı daha büyük sistemin kaosunu kullanır. Çünkü evrim aynı zamanda, kendi artan düzenine dayanır; bir evrim sürecinde düzen üstel olarak artar.
- Yukarıdaki gözlemle ilişkili bir başka şey, bir evrim sürecindeki (bir sürecin hızı, verimliliği, maliyet etkinliği ya da tüm "gücü" gibi) "getirilerin" de zaman içinde üstel olarak artmasıdır. Bunu (bugün artık ortalama iki yılda bir görülen) her yeni kuşak bilgisayar çipinin birim maliyet başına iki katı ve (elektronların hem kendi içlerinde hem de kendileri ve diğer etmenler arasında kat etmeleri gereken uzaklıkların kısalmasıyla) çok daha hızlı çalışan bileşenleri sağladığını ortaya koyan Moore Yasasında görürüz. Aşağıda betimlediğim gibi, bilgisayar tabanlı teknolojilerin gücü ile fiyat performansındaki bu üstel büyüme yalnızca bilgisayarlarla sınırlı değildir; temelde tüm bilgi teknolojileri için geçerlidir, çeşitli yollarla ölçülebilecek insan bilgisini de içerir. "Bilgi teknolojileri" teriminin giderek büyüyen geniş bir olgular sınıfını kapsadığı ve sonuçta ekonomik faaliyetlerin ve kültürel çabaların tamamını içerecek bir terim olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.
- Bir diğer olumlu geribildirim döngüsünde, belli bir evrim süreci ne kadar etkili olursa –örneğin, bilgi işlem ne kadar büyük kapasiteye ve maliyet etkinliğine ulaşırsa– bu sürecin daha da

ilerlemesi için harekete geçirilecek kaynaklar da o kadar fazla olacaktır. Bu, üstel büyümenin ikinci düzeyini doğuracaktır; bir başka deyişle, üstel büyümenin –üssün– hızı üstel olarak büyüyecektir. Örneğin, s. 53'deki "Moore Yasası: Beşinci Paradigma" başlıklı şemada görüleceği gibi, bilgi işlemin fiyat performansının iki katına çıkarılması yirminci yüzyılın başında üç yıl, aynı yüzyılın ortalarında iki yıl sürmüştür. Bugün ise yılda iki katına çıkmaktadır. Yalnızca her çipin gücü aynı birim maliyet korunarak yılda iki katına çıkmakla kalmayıp, her yıl üretilen çip sayısı da üstel olarak artmaktadır; bu nedenle bilgisayar araştırma bütçeleri de önceki yıllara oranla önemli ölçüde büyümüştür.

- Biyolojik evrim böylesi bir evrim sürecidir. Gerçekten de evrim sürecinin en tipik örneğidir. Bütünüyle (bir evrim algoritmasının yapay kısıtlamalarının aksine) açık bir sistemde oluşması nedeniyle sistemin birçok düzeyi aynı zamanda evrim geçirmiştir. Yalnızca bir türün genlerinde taşınan bilgi daha büyük bir düzene doğru gelişmekle kalmaz, evrim sürecinin gerçekleştiği sistemin bütünü de bu yönde evrilir. Örneğin, kromozomların sayısıyla birlikte kromozomlardaki genlerin dizilişi de zaman içinde evrim geçirmiştir. Bir diğer örnek, evrimin (süregelen evrimin iyileşmesi için yararlı bir mekanizma olduğu için biraz değişinime –mutasyon– izin verilmekle birlikte), genetik bilgiyi istenmeyen kusurlardan korumanın çeşitli yollarını bulmuş olmasıdır. Bunu elde etmenin başlıca yollarından biri kromozom çiftlerinde genetik bilginin yinelenmesidir. Bu, kromozomlardan birindeki genin bozulması durumunda ona karşılık gelen genin kusursuz ve etkin olmasını garanti eder. İkizi olmayan erkek Y kromozomu bile taşıdığı bilgiyi yine Y kromozomunda yineleyerek bu bilgiyi yedeklemenin bir yöntemini bulmuştur.[12] Genomun yalnızca yüzde 2'si protein

12 Daha fazla bilgi için *bkz.* J. J. Emerson vd, "Extensive Gene Traffic on the Mammalian X Chromosome," *Science* 303.5657 (23 Ocak 2004): 537–40, http://www3.uta.edu/faculty/betran/science2004.pdf; Nicholas Wade, "Y Chromosome Depends on Itself to Survive," *New York Times,* 19 Haziran 2003 ve Bruce T. Lahn ve David C. Page, "Four Evolutionary Strata on the Human X Chromosome," *Science* 286.5441 (29 Ekim 1999): 964–67, http://inside.wi.mit.edu/page/Site/Page%20PDFs/Lahn_and_Page_strata_1999.pdf.
İlginç olan, kızlardaki ikinci X kromozomunun, X inaktivasyonu adı verilen

kodlar.[13] Genetik bilginin kalan bölümü, protein kodlama genlerinin, henüz anlamaya başladığımız bir süreçte, kendilerini ne zaman ve nasıl ifade ettiklerini (protein ürettiklerini) denetleyen karmaşık yollar geliştirmişlerdir. Böylelikle, evrim sürecinin kendisi de izin verilen değişinim oranı örneğinde olduğu gibi, zaman içinde evrim geçirmiştir.

- Bu evrim süreçlerinin bir diğeri de teknolojik evrimdir. Gerçekten de, teknoloji üreten ilk türün ortaya çıkması, teknolojinin, biyolojik evrimin uzantısı –ve devamı– olan yeni evrim sürecini başlatmıştır. *Homo sapiens,* birkaç yüz bin yıl içinde evrim geçirmiş, insansılarca yaratılan teknolojinin (örneğin, tekerlek, ateş ve taştan yapılan araçlar) ilk dönemlerinde neredeyse hiç ilerleme olmamış, bu teknolojinin gelişmesi ve yaygın olarak kullanılması için on binlerce yıl gerekmiştir. Bundan yarım binyıl önce, baskı makinesi gibi bir paradigma değişiminin ortaya çıkardığı ürünün yaygınlaşması için yaklaşık yüz yıl geçmesi gerekmiştir. Bugün, cep telefonları ve dünya çapında ağ gibi önemli paradigma değişimleri, yalnızca birkaç yıllık süreler içinde yaygın olarak benimsenmektedir. Belirli bir paradigma (örneğin, daha güçlü bilgisayarların yapılabilmesi için tümleşik bir devrenin transistörlerinin küçültülmesi gibi, bir sorunun çözümü için bir yöntem ya da yaklaşım), barındırdığı potansiyel tüketilinceye kadar üstel büyüme gösterir. Bu durum gerçekleştiğinde, üstel büyümenin sürdürülmesini sağlayacak bir paradigma değişimi oluşur.

---

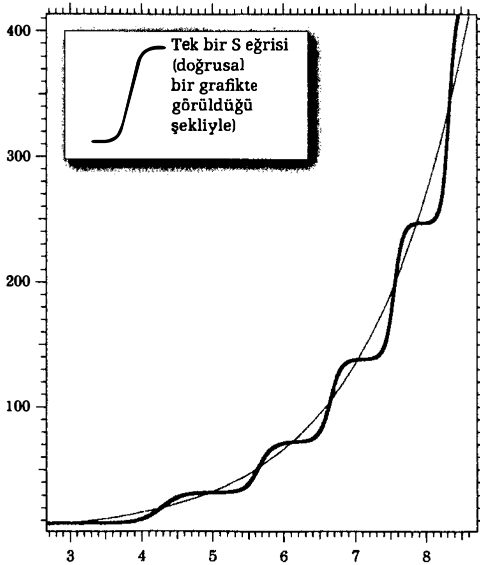
bir süreçte, yalnızca bir X kromozomundaki genlerin ifade edileceği biçimde etkisizleştirilmiş olmasıdır. Araştırmalar, bazı hücrelerde babadan gelen X kromozomunun, bazı hücrelerde de anneden gelen X kromozomunun etkisizleştirildiğini göstermiştir.

13 İnsan genomu projesi, "Insights Learned from the Sequence," http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/project/journals/insights.html. İnsan genomunun dizilimi ortaya konmuş da olsa, bunların çoğunluğu protein kodlamamaktadır (hurda DNA olarak nitelendirilenler); bu nedenle araştırmacılar insan DNA'sındaki üç milyar baz çiftinden kaç genin belirleneceğini hâlâ tartışmaktadırlar. İnsan Genomu Projesi sırasında yapılan tahminler yüz bine kadar çıkmış olmakla birlikte geçerli olan tahminler bu sayıyı otuz binden az vermektedir. *Bkz.* "How Many Genes Are in the Human Genome?" (http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/faq/genenumber.shtml) ve Elizabeth Pennisi, "A Low Number Wins the GeneSweep Pool," Science 300.5625 (6 Haziran 2003): 1484.

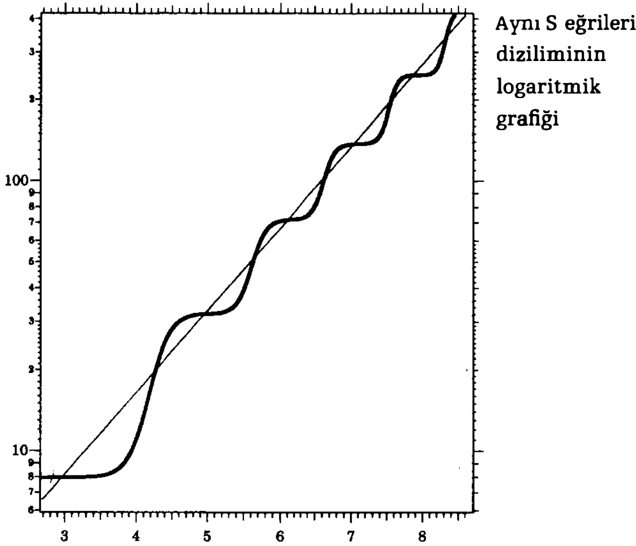
Paradigmanın Yaşam Döngüsü. Her paradigma üç evrede gelişir:

1. Yavaş büyüme (üstel büyümenin ilk evresi)
2. Aşağıdaki S eğrisi şemasında görüleceği gibi, hızlı büyüme (üstel büyümenin ileri, patlama evresi)
3. Söz konusu paradigmanın olgunlaşmasıyla eriştiği düzlük

Bu üç aşamanın ilerleyişi, sağa doğru esneyen bir S harfine benzer. Aşağıdaki S eğrisi çizimi, süregelen bir üstel eğilimin nasıl ardışık S eğrilerinden oluşabildiğini göstermektedir. Her S eğrisi öncekinden daha hızlı (zamanda ya da *x ekseninde* daha az zaman gerektirir) ve daha yüksektir (performansta, yani *y ekseninde*, daha fazla yer kaplar).



Basamaklı S eğrilerinden oluşan sürekli üstel dizilim (doğrusal grafik)



Aynı S eğrileri dizilimінin logaritmik grafiği

S eğrileri, biyolojik evrim için tipiktir: Rekabetçi nişlerde işleyen, sınırlı yerel kaynaklar için mücadele eden, görece değişmez karmaşıklığa sahip bir sistem (örneğin, belli bir türe ait bir organizmanın) yinelenir. Bu, çoğunlukla, örneğin bir türün kendisi için elverişli yeni bir ortama rastlamasıyla ortaya çıkar. "Düzlüğe" erişmeden önce, sayıları üstel olarak artacaktır. Bir evrim sürecinin (ister moleküler olsun ister biyolojik, kültürel ya da teknolojik) genel üstel büyümesi, artan gücü ve birbiri ardına gelen her paradigmayla gelişen verimliliği sonucunda, herhangi belirli bir paradigmada (belirli bir S eğrisi) görülen büyümenin sınırlarının yerine geçer. Bu nedenle, evrim sürecinin üstel büyümesi birden çok S eğrisine yayılır. Bu olgunun çağımızdaki en önemli örneği, bilgi işlemin aşağıda irdelenen beş paradigmasıdır. Önceki bölümde paradigma değişimlerinin ivmesi için verilen grafiklerde gösterilen evrim gelişiminin tamamında, birbirini izleyen S eğrileri görülmektedir. Yazı ya da matbaa gibi kilit olayların her biri, yeni bir paradigmayı ve yeni bir S eğrisini göstermektedir.

Evrimde, kesintili denge adı verilen kuram, evrimi hızlı değişim dönemlerinin ardından gelen göreceli durağanlık dönemle-

riyle betimler.[14] Çığır açan olaylar şemasında yer alan kilit olaylar gerçekten de düzende (ve çoğunlukla karmaşıklıkta) görülen üstel artış dönemlerindeki yenilenmelere karşılık gelir ve bu yenilenmeleri izleyen dönemlerde her paradigmanın kavuşması, yani kapasitesinin sınırına yaklaşmasıyla da büyüme yavaşlar. Sonuçta, kesintili denge kuramı, paradigma değişimleri yoluyla yalnızca kesintisiz bir ilerleme öngören modele kıyasla daha iyi bir evrim modeli ortaya koyar.

Ancak, kesintili dengenin kilit olayları daha hızlı değişimlere neden olmakla birlikte, ani sıçramaları temsil etmez. Örneğin, DNA'nın ortaya çıkması organizmanın tasarımının evrimsel gelişiminde büyük bir yükselişe (anlık sıçramaya değil), dolayısıyla karmaşıklığın artmasına neden olmuştur. Teknolojinin yakın tarihinde bilgisayarın icadı, insan–makine uygarlığının kontrol edebileceği bilgi karmaşıklığında hâlâ sürmekte olan bir diğer ani yükselişi başlatmıştır. Bu ikinci yükseliş, biz evrenin bize ait bölgesindeki madde ve enerjiyi, altıncı bölümdeki "Evrenin Zeki Yazgısı Üzerine ..." kısmında irdeleyeceğimiz fiziksel sınırlara dayalı bilgi işleme doyuruncaya kadar asimptotuna ulaşmayacaktır.[15]

---

14 Niles Eldredge ile rahmetli Stephen Jay Gould bu kuramı 1972 yılında ortaya atmışlardır (*Models in Paleobiology* içinde, yay. haz. T. J. M. Schopf [San Francisco: Freeman, Cooper], s. 82–115). Giderek kabul edilmekle birlikte kuram o günden beri paleontologlar ile evrim biyologları arasında ateşli tartışmalara neden olmuştur. Bu kurama göre türler milyonlarca yıl boyunca göreceli olarak değişmeden kalabilirler. Bu durmanın ardından gelen bir değişim patlaması yeni türlerin doğmasına ve önceki türlerin tükenmesine (Elisabeth Vrba bunu "dönüşümün nabzı" olarak adlandırmıştır) neden olur. Etkisi ekosistemin tamamına yayılarak akrabalıkları olmayan birçok türü etkiler. Eldredge ve Gould'un önerdikleri örüntü, yeni bir bakış açısı gerektiriyordu: "Hiçbir önyargı, görünmezlikten daha kısıtlayıcı olamaz, kaçınılmaz olarak evrimin yokluğu olarak okunan durağanlık ise hiçbir zaman bir konu olarak ele alınmamıştır. En basit paleontolojik olguların bile ilgi ve dikkat alanının dışında tanımlanması ne tuhaftır!" S. J. Gould ve N. Eldredge, "Punctuated Equilibrium Comes of Age," *Nature* 366 (18 Kasım 1993): 223–27.
Ayrıca bkz. K. Sneppen vd, "Evolution As a Self–Organized Critical Phenomenon," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92.11 (23 Mayıs 1995): 5209–13; Elisabeth S. Vrba, "Environment and Evolution: Alternative Causes of the Temporal Distribution of Evolutionary Events," *South African Journal of Science* 81 (1985): 229–36.

15 Altıncı bölümde irdeleyeceğim gibi, eğer ışığın hızı bilginin evrenin uzak bölümlerine hızla iletilebilmesinde temel bir sınır değilse, o zaman zekâ ve bilgi işlem tüm evren çapında bilgi işlemi destekleyecek madde ve enerji potansiyelini doygunluğa ulaştırana kadar üstel olarak yayılmayı sürdürecektir.

Paradigmanın yaşam döngüsünün bu üçüncü ya da olgunluk evresinde, gelecek paradigma değişimi için baskı artmaya başlar. Teknoloji söz konusu olduğunda, gelecek paradigmayı oluşturmak için finansal yatırımlar seferber edilir. Düz tümleşik devre üzerinde fotolitografi kullanan küçük transistörlerin oluşturacağı paradigma için her ne kadar en az bir on yıl daha gerekse de, günümüzde bunu üç boyutlu moleküler bilgi işleme yönelik yürütülen kapsamlı araştırmalarda görüyoruz.

Genelde, bir paradigma maliyet performansının asimptotuna yaklaştığında, ardından gelecek teknik paradigma niş uygulamalarda çoktan işlemeye başlamış olur. Örneğin, 1950'lerde mühendisler bilgisayarlarda daha yüksek fiyat performansı elde edebilmek için vakum tüplerini, artık bu işlem uygulanabilir olmaktan çıkıncaya kadar küçülttüler. Bu noktada, 1960 dolaylarında, transistörler portatif radyolarda güçlü bir niş pazar elde etmişti, sonra bilgisayarlarda vakum tüplerinin yerine kullanılmaya başlandı.

Bir evrim sürecinin üstel büyümesinin temelinde yatan kaynaklar görece sınırsızdır. Bu tür bir kaynak (belirttiğim gibi bir evrim sürecinin ürünleri büyümelerini bir düzene göre sürdürdükleri için) evrim sürecinin doğrudan kendisinin (giderek artan) düzenidir. Evrimin her aşaması kendinden sonraki aşama için daha güçlü araçlar sağlar. Örneğin, DNA'nın ortaya çıkması biyolojik evrimde daha güçlü ve hızlı evrimsel "deneyleri" mümkün kılmıştır. Ya da daha yeni bir örnek vermek gerekirse, bilgisayar destekli tasarım araçlarının ortaya çıkışı, gelecek kuşak bilgisayarların daha hızlı gelişmesini sağlamaktadır.

Düzenin aralıksız üstel büyümesi için gerekli diğer kaynak, evrim sürecinin içinde yer aldığı ve daha fazla çeşitlilik seçeneğini sağlayan ortamın "kaosudur." Kaos, bir evrim sürecinin daha güçlü ve verimli çözümler keşfedebilmesini hazırlayan değişkenliği sağlar. Biyolojik evrimdeki çeşitlilik kaynaklarından biri de eşeyli üreme yoluyla gen birleşimlerinin karışması ve eşlenmesidir. Eşeyli üremenin kendisi tüm biyolojik uyum sürecini hızlandırıp, eşeysiz üremeye göre çok daha fazla genetik birleşim çeşitliliği sağlayan bir evrimsel yenilikti. Çeşitliliğin diğer kaynakları, değişinim ve sürekli değişen çevre koşullarıdır. Teknolojinin evrimin-

de insanın yaratıcılığının değişken pazar koşullarıyla birleşmesi yenilikçi sürecin sürekliliğini sağlamaktadır.

Fraktal Tasarımlar. Biyolojik sistemlerin bilgi içeriğiyle ilgili kilit soru, görece az bilgi içeren genomun, insan sistemi gibi onu tanımlayan genetik bilgiden çok daha karmaşık bir sistemi üretmesinin nasıl mümkün olduğu sorusudur. Bunu anlamanın bir yolu, biyolojinin tasarımlarına "olasılık fraktalleri" olarak bakmaktır. Belirleyici bir fraktal ("başlatıcı" adı verilen), tek tasarım ögesinin yerine (toplam olarak "üreteç" adı verilen) birden çok ögenin konduğu bir tasarımdır. Fraktal genişleme ikinci kez yinelendiğinde üreteçteki her öge bir başlatıcıya dönüşerek, yerini (ikinci kuşak başlatıcıların daha küçük boyutuna indirgenerek) üretecin ögelerine bırakır. Bu süreç, yeni oluşan her üreteç ögesinin başlatıcıya dönüşerek yerini yeni ölçekli bir üretece bırakmasıyla birçok kez yinelenir. Fraktal genişlemedeki her yeni kuşak, fark edilir karmaşıklık getirir ama ek tasarım bilgisi gerektirmez. Bir olasılık fraktali belirsizlik ögesini ekler. Bir belirleyici fraktal ise her devreye girdiğinde aynı görünümdeyken, olasılık fraktali benzer özelliklerde de olsa her seferinde farklı görünür. Bir olasılık fraktalinde, her bir üreteç ögesinin uygulanmasının olasılığı 1'den azdır. Böylece sonuçta ortaya çıkan tasarımlar daha organik görünüme sahip olur. Olasılık fraktalleri grafik programlarında, dağların, bulutların, deniz kıyılarının, bitkilerin ve diğer organik görüntülerin daha gerçekçi görünümünü elde etmek için kullanılır. Bir olasılık fraktalinin en önemli yanı, görece az bir tasarım bilgisinden, geniş alana yayılmış değişken ayrıntılar da dahil olmak üzere, kendini büyük oranda gösteren karmaşıklığın üretilmesini sağlamasıdır. Biyoloji de bu ilkeyi kullanır. Genler tasarım bilgisini sağlar, ama bir organizmanın ayrıntıları genetik tasarım bilgisinden çok daha farklıdır.

Bazı gözlemciler, örneğin, her nörondaki her bir mikro yapının (her bir tübül gibi) tam yapılanmasının gerektiği biçimde tasarlanmış olduğunu ve sistemin işleyebilmesi için tam da bu şekilde olması gerektiğini söyleyerek, beyin gibi biyolojik sistemlerdeki ayrıntının miktarını yanlış değerlendirmektedirler. Ancak, beyin gibi bir biyolojik sistemin nasıl çalıştığını anlayabilmek için, önce bu sistemin

genetik bilginin yinelenen, fraktal benzeri süreçler yoluyla ürettiği, son derece ayrıntılı yapılardan çok daha basit olan (yani, çok daha az bilgi içeren) tasarım ilkelerini anlamamız gerekir. İnsan genomunun tamamında yalnızca sekiz yüz milyon bitlik bilgi yer alır, veri sıkıştırma uygulandıktan sonra ise yalnızca otuz ile yüz milyon bitlik bilgi söz konusu olur. Bu, tam gelişmiş bir insan beynindeki tüm nöron bağlantılarının ve nöro-ileticilerindeki yoğunlaşma örüntülerinin karşıladığından tam yüz milyon kez daha az bilgidir.

İvmelenen getiriler yasasının ilkelerinin birinci bölümde ele aldığımız evrelerde nasıl geçerli olduğunu düşünün. Amino asitlerin birleşerek proteinleri, nükleik asitlerin birleşerek RNA zincirlerini oluşturması, biyolojinin temel paradigmasını belirlemiştir. Kendiliğinden kopyalanan (İkinci Evre) RNA zincirleri (sonra da DNA) evrimsel deneylerin sonuçlarını kaydetmenin sayısal yöntemini sağlamıştır. Daha sonra, akılcı düşünceyle (Üçüncü Evre) karşılayıcı bir uzantıyı (başparmak) birleştiren bir türün evrimi biyolojiden teknolojiye kadar (Dördüncü Evre) temel bir paradigma değişimine yol açmıştır. Yaklaşmakta olan temel paradigma değişimi ise biyolojik düşünceden, biyolojik ile biyolojik olmayan düşünceyi birleştiren, "biyolojik olarak tasarımlanıp" biyolojik beyinlerin ters mühendislik işlemiyle sonuca götürülen süreçlerle oluşan bir karma paradigmaya (Beşinci Evre) doğru olacaktır.

Bu evrelerin zamanlamasını inceleyecek olursak, bunların sürekli hızlanan bir sürecin parçası olduğunu görürüz. Canlı formların evrimindeki ilk adımlar için (ilkel hücreler, DNA) milyarlarca yıl gerekmiş, ardından ilerleme hızlanmıştır. Kambriyen patlama sırasında başat paradigma değişimleri yalnızca on milyon yıl sürmüştür. Ardından, milyonlarca yıllık bir sürede insansılar, yalnızca birkaç yüz bin yıllık sürede ise *Homo sapiens* ortaya çıkmıştır. Teknoloji üreten türün ortaya çıkmasıyla da üstel hız, DNA güdümlü protein sentezi yoluyla gerçekleşen evrim için aşırı derecede artmış ve evrim, insan tarafından yaratılan teknolojiye kaymıştır. Bu, biyolojik (genetik) evrimin sürmediği anlamına gelmez; yalnızca gelişen düzenin (ya da bilgi işlemin etkililiğinin ya da etkinliğinin) gidişinin öncüsü değildir artık.[16]

16 Bununla birlikte, kanser ve viral hastalıklar gibi hastalık süreçlerinin evrimi aleyhimize kullanması (yani, kanser hücreleri ile virüslerin, kemoterapi ilaç-

İleri Görüşlü Evrim. Biyolojik evrimin sonucunda ortaya çıkıp teknoloji yoluyla süregelerek artan düzen ve karmaşıklığın birçok yan etkisi vardır. Gözlemlemenin sınırlarını ele alın. İlk yaşam formları, kimyasal gradyanlarla birkaç milimetre ötedeki yerel olayları gözlemleyebiliyorlardı. Görme yetenekli hayvanlar geliştiğinde, bunlar kilometrelerce uzaktaki olayları görebildiler. Teleskopun icadıyla ise insanlar, milyonlarca ışık yılı uzaklıktaki diğer evrenleri görebilmeye başladılar. Diğer yandan, tersten bakıldığında, mikroskobun kullanımıyla hücre boyutunda yapıları görebilmeye başladılar. Çağdaş teknolojiyle donanmış insan artık, gözlemlenebilen evrenin yaklaşık on üç milyar ışık yılından daha uzaktaki kıyısını ve atomu oluşturan kuantum ölçeğindeki parçacıkları görebilmektedir.

Gözlemin süresini düşünün. Tek hücreli canlılar bir olayı kimyasal tepkilere dayanarak, birkaç saniye sonrasına kadar anımsayabiliyorlardı. Beyni olan hayvanlar olayları birkaç gün sonrasına kadar anımsayabiliyorlardı. Kültürü olan primatlar bilgiyi kuşaktan kuşağa aktarabildiler. Sözlü tarihe sahip insan uygarlıkları öykülerini yüzlerce yıl boyunca yaşatabildiler. Yazılı dilin ortaya çıkmasıyla ise kalıcılık binlerce yıla uzadı.

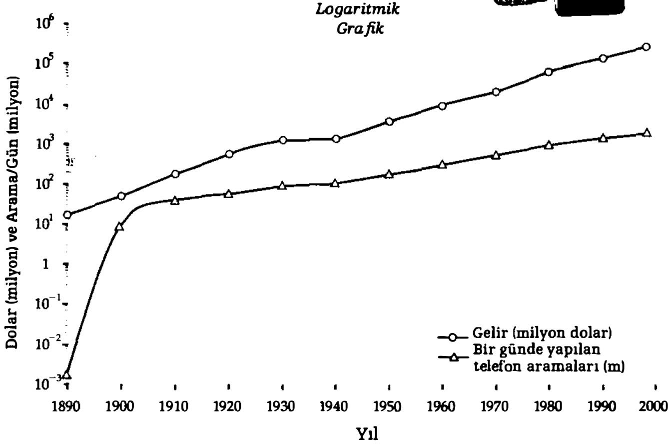
Teknolojinin paradigma değişimindeki ivmeye verilebilecek birçok örnekten biri, on dokuzuncu yüzyılın sonlarında icat edilen telefonun kayda değer bir kullanım düzeyine erişmesi için, yaklaşık bir yarım yüzyılın geçmesi gerektiğidir (*bkz.* aşağıdaki şekil).[17]

ları, antiviral ilaçlar gibi belirli karşı önlemlere tepki verecek şekilde evrim geçirmesi) nedeniyle biyolojik evrim insanlar için hâlâ geçerlidir. Ancak, hastalık süreçleriyle yeterince köklü biçimde ve bir hastalıkla aynı anda birkaç ortogonal (birbirinden bağımsız) yoldan "kokteyl" yaklaşımlarla savaşarak insan zekâmızı biyolojik evrimin zekâsını alt etmek için kullanabiliriz.

17 Andrew Odlyzko, "Internet Pricing and the History of Communications," AT&T Laboratuvarının Araştırması, gözden geçirilmiş baskısı: 8 Şubat 2001, http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/history.communications1b.pdf.

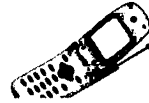
ABD'de Telefon
Endüstrisinin Gelişimi

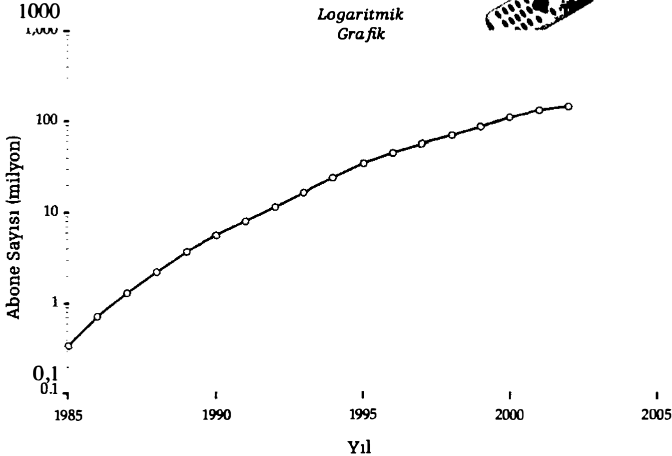




Buna karşın yirminci yüzyılın sonlarına doğru cep telefonunun benimsenmesi için yalnızca on yıl gerekmiştir.[18]

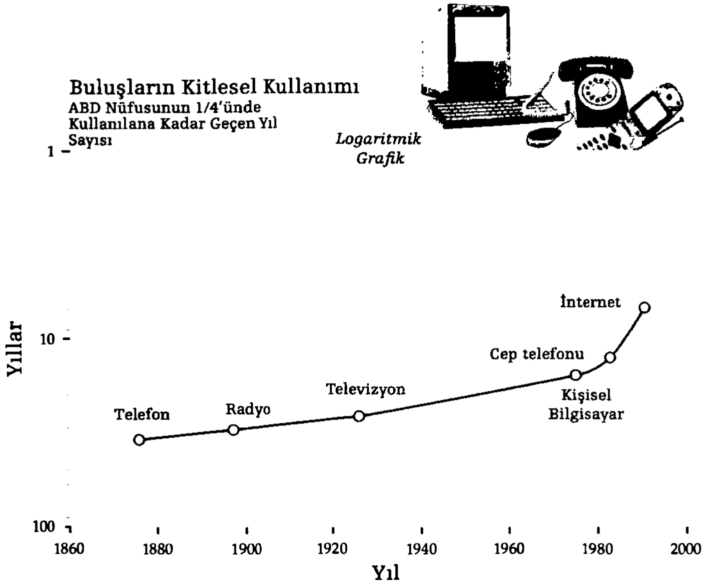
ABD'de Tahmini Cep
Telefonu Abone Sayısı





18 Kablosuz Telekomünikasyon ve İnternet Kurumu, Altı Aylık Kablosuz Endüstri Araştırması, Haziran 2004, http://www.ctia.org/research_statistics/index.cfm/AID/10030.

Geçtiğimiz yüzyıl içinde iletişim teknolojilerinin benimsenme hızında genel olarak düzenli bir artış görülmektedir.[19]



Önceki bölümde irdelendiği gibi, yeni paradigmaların genel benimsenme hızı, teknolojinin ilerleme hızına paralel gelişerek, şimdilerde her on yılda bir ikiye katlanmaktadır. Yani, yeni paradigmaların benimsenmesi için gereken süre her on yılda bir yarıya inmektedir. Bu hızla, yirmi birinci yüzyıldaki teknolojik ilerleme (doğrusal bakışla) iki yüz yıllık ilerlemeye (2000 yılındaki ilerleme hızıyla) denk gelecektir.[20, 21]

---

19 Elektrik, telefon, radyo, televizyon, cep telefonları: FCC, www.fcc.gov/Bureaus/Common_Carrier/Notices/2000/fc00057a.xls. Ev bilgisayarları ve İnternet kullanımı: Eric C.Newburger, ABD Sayım Bürosu, "Home Computers and Internet Use in the United States: August 2000," (Eylül 2001), http://www.census.gov/prod/2001pubs/p23-207.pdf. *Ayrıca bkz.* "The Millennium Notebook," *Newsweek,* 13 Nisan 1998, s. 14.

20 Yeni iletişim teknolojilerinin benimsenmesi için gereken zamanla ölçülen paradigma değişim hızı halen her dokuz yılda bir ikiye katlanmakta (yani, kitlelerce benimsenmesi -bu, ABD nüfusunun dörtte biri olarak tanımlanmıştır- için geçen süre yarıya inmektedir). *Ayrıca bkz.* 21. not.

21 Bu bölümde, s. 40'ta verilen "Buluşların Kitlelerce Kullanımı" grafiği, ABD nüfusunun yüzde 25'ince benimsenmesi için gereken sürenin son 130 yılda

Yaşam Döngüsünde Göründüğü Şekliyle Bir Teknolojinin S Eğrisi

Bir makine, bir keman sonatı ya da bir Öklit teoremi kadar canlı, belirgin ve mükemmellik derecesinde insanidir.

—Gregory Vlastos

Hücresinde sessizce çalışan keşiş hattat ile çeyrek yüzyıl içinde, iş yaşamında devrim ve reformlar yaratan modern yazı makinesinin keskin "tık tıkları" arasında dağlar kadar fark vardır.

—*Scientific American, 1905*

Hiçbir iletişim teknolojisi asla yok olmamıştır, yalnızca teknolojinin ufku genişledikçe bunların önemi giderek azalmaktadır.

—Arthur C. Clarke

---

düzenli olarak kısaldığını göstermektedir. Telefonun benimsenmesi 35 yıl sürerken radyonun benimsenmesi 31 yıl sürmüştür, bu da iki icat arasında yüzde 11'lik ya da 21 yıl boyunca yılda 0,58'lik bir kısalmadır. İcadın benimsenmesi için geçen süre, radyo ile televizyon arasındaki dönemde yılda yüzde 0,60 oranında azalırken, televizyon ile kişisel bilgisayar arasındaki dönemde yılda yüzde 1,0 oranında, kişisel bilgisayar ile cep telefonu arasında yılda yüzde 2,6, cep telefonu ile Dünya Çapında Ağ arasında yılda yüzde 7,4 oranında azalmıştır. 1897 yılından başlayarak radyonun kitlelerce benimsenmesi 31 yıl alırken, 1991 yılında piyasaya çıkan ağın kitlelerce benimsenmesi yalnızca 7 yıl almıştır, bu da 94 yılda yüzde 77'lik bir azalma ya da benimsenme süresinde yılda ortalama yüzde 1,6 oranında bir azalma demektir. Bu oranı yirminci yüzyıl geneline yansıtırsak, toplamda yüz yılda yüzde 79 oranında bir azalma elde ederiz. Benimsenme süresinin şu andaki yılda yüzde 7,4'lük azalma hızıyla, yirminci yüzyılda erişilen yüzde 79'luk azalmaya ulaşmak için bugünün ilerleme hızında yalnızca 20 yıl gerekecektir. Bu hızla, paradigma değişimi yaklaşık her 9 yılda bir ikiye katlanmaktadır (yani, benimsenme süreleri yüzde 50 oranında düşmektedir). Yirmi birinci yüzyıl boyunca hız on bir kez ikiye katlanacak, 211 ile çarpılarak 2000 yılının hızının yaklaşık 2000 katına erişecektir. Gerçekte bu hız artışı daha büyük olacaktır çünkü mevcut hız aynen yirminci yüzyılda olduğu gibi düzenli olarak artmaya devam edecektir.

Düşüncemin tıkandığı, huzursuzluk duyduğum ya da herhangi bir nedenle bir esin desteğine ihtiyacım olduğunda karıştırabilmek için, çalışma masamda her zaman birtakım kitaplar bulundururum. Son zamanlarda edindiğim kalınca bir cildi elime alıp, ciltçilik sanatını düşündüm: Özenle basılmış 470 sayfa, 16 sayfalık formalarda toplanıp beyaz iplikle birbirine dikilerek, gri bir bez şeride tutkalla yapıştırılmış. Üzeri altın varak harflerle yazılı, ketenle bağlanmış kapak, zarifçe gofrelenmiş boş son sayfalarla forma bloklarına bağlanmış. Bu, yıllar önce mükemmelleştirilmiş bir teknoloji. Kitaplar, toplumumuzun – kültürü hem yansıtan hem de biçimlendiren– öylesine ayrılmaz bir parçasıdır ki, onlarsız bir yaşamı düşünmek zordur. Ama tüm diğer teknolojiler gibi basılı kitabın da sonsuza kadar yaşaması mümkün değildir.

Bir Teknolojinin Yaşam Döngüsü

Bir teknolojinin yaşam döngüsünü yedi ayrı aşamada tanımlayabiliriz.

1. Öncü aşamada, o teknolojinin ön koşulları görülür, hayalperestler bu unsurların bir araya gelişini zihinlerinde canlandırabilirler. Ancak, düşler yazıya dökülse bile düşlemekle icat etmeyi aynı şey olarak görmeyiz. Akla oldukça yatkın uçak ve araba resimleri çizmiş olmakla birlikte Leonardo da Vinci'nin bunları icat ettiği düşünülmez.
2. Kültürümüzde epeyce değer verilen sonraki aşama, icat aşaması, bazı yönlerden uzun süren doğum sancılarından sonra gerçekleşen, doğuma benzer çok kısa bir aşamadır. Mucit burada merakı bilimsel beceriyle, kararlılıkla, çoğunlukla da bir miktar şovmenlikle harmanlayarak, yöntemleri yeni bir biçimde birleştirir ve yeni teknolojiyi hayata geçirir.
3. Sonraki aşama, icadın, üzerine titreyen koruyucularca (mucidin kendisi de bunlar arasında olabilir) korunduğu ve desteklendiği gelişme aşamasıdır. Bu aşama çoğunlukla icat aşamasından daha kritiktir; icadın kendisinden daha önemli olabilecek ek yaratılar söz konusu olabilir. Birçok usta, el emeğiyle en ince ayrıntısına kadar çalışarak atsız araba yapmıştır ama otomobilin tutunup gelişmesini sağlayan, Henry Ford'un getirdiği seri üretim yeniliğidir.

4. Dördüncü aşama olgunluk aşamasıdır. Evrim sürse de artık teknolojinin kendine ait bir hayatı vardır, toplumun bir parçası olarak yer edinmiştir. Yaşamın dokusuna öylesine örülmüş olabilir ki bazı gözlemciler bunun sonsuza kadar var olacağını düşünebilirler. Bu durum, benim boş iddiacıların aşaması olarak nitelendirdiğim sonraki aşamaya geçildiğinde ilginç bir drama neden olur.
5. Burada bir anda ortaya çıkıveren bir gelişme önceki teknolojiyi gölgede bırakmakla tehdit eder. Bunun heveslileri, zamanından önce zafer öngörülerinde bulunurlar. Yeni teknoloji üzerine düşünüldüğünde, belirgin bazı yararlar sağlamakla birlikte, bazı kilit işlev ve nitelik ögelerinden yoksun olduğu anlaşılır. Yerleşik düzeni yerinden oynatmayı gerçekten başaramadığında da, teknolojinin tutucuları bunu önceki yaklaşımın gerçekten de sonsuza kadar yaşayacağının kanıtı sayarlar.
6. Yaşlanmakta olan teknoloji için bu çoğunlukla kısa ömürlü bir başarıdır. Genellikle bundan kısa süre sonra başka bir yeni teknoloji, önceki teknolojiyi modası geçmiş teknolojiler arasına kaydırmayı başarır. Teknoloji, yaşam döngüsünün bu bölümünde adım adım gerileyerek kıdem yıllarını sonuna kadar yaşarken, temel amacı ve işlevi de artık daha etkin bir rakibin alanına girmiştir.
7. Yaşam döngüsünün yüzde 5'i ile 10'u arasındaki bir dilimi kapsayan bu aşamada teknoloji, sonunda (faytonun, klavsenin, vinil plağın ve mekanik daktilonun yaptığı gibi) antikalar arasındaki yerine çekilir.

On dokuzuncu yüzyılın ortalarında, Leon Scott de Martinville'in ses titreşimlerinin dalga boylarını görsel olarak kâğıda yazan fonotograf aygıtı da dahil, gramofonun birkaç önceli çıktı. Ama tüm unsurları birleştirerek, sesi hem kaydedip hem üretebilen ilk aygıtı 1877 yılında Thomas Edison buldu. Gramofonun ticari olarak geçerli olması için biraz rötuş gerekiyordu. Columbia şirketi 1949 yılında ilk 33 devirli uzunçaları (LP) ve RCA Victor şirketi 45 devirli plağı piyasaya çıkardığında artık tam gelişmiş bir teknoloji haline gelmişti. Bu örnekteki boş iddialar, 1960'larda piyasaya çıkıp 1970'lerde

popüler olan kaset teyple geldi. İlk heveslileri, kaset teybin küçük olması, üzerine yeniden kayıt yapılabilmesinin, görece daha çok yer kaplayan ve çizilebilen plağı piyasadan silmesine yol açacağını düşündüler.

Öne çıkan onca avantajına karşın kasetler rastgele erişim özelliği taşımazlar, kendine özgü biçimlerde bozulmaya yatkındırlar ve sesi doğal olarak kaydedemezler. Öldürücü darbe Kompakt Diskten (CD) geldi. CD'nin hem rastgele erişim sağlaması hem de insanın işitme sisteminin sınırlarına yakın bir kalite düzeyi sunmasıyla, plak zamanını çabucak doldurmuş oldu. Hâlâ üretilmekle birlikte, bundan hemen hemen 130 yıl önce Edison'un dünyaya getirdiği teknoloji artık antikalar arasındaki yerini almış durumda.

Yeniden üretimiyle etkin biçimde uğraştığım bir teknoloji alanı olan piyanoyu ele alın. On sekizinci yüzyılın başlarında Bartolommeo Cristofori, o dönemde popüler olan klavsene bir dokunma tepkisi özelliğini, yorumcunun dokunma şiddetine göre notanın ses gücünü çeşitlendirebilme yeteneğini eklemenin yollarını arıyordu. *Gravicembalo col piano e forte* ("pes ve güçlü sesli klavsen") adını verdiği icadı başarıyı hemen yakalayamadı. Stein'ın Viyana etkisi ile Zumpe'nin İngiliz etkisi de dahil sonradan yapılan rötuşlar "piyanonun" rakipsiz tuşlu çalgı olarak yerleşmesini sağladı. Alpheus Babcock tarafından 1825 yılında patenti alınan tam dökme demir iskeletin geliştirilmesiyle de piyano olgunluğa erişti, o günden beri de ancak çok ince bazı ayarlar yapıldı. Buradaki boş iddialar ise, 1980'lerin başında ortaya çıkan elektrikli piyanoydu. Elektrikli piyano çok daha fazla işlevselliğe sahipti. Akustik piyanonun tek (piyano) sesine kıyasla elektrikli piyano düzinelerce çalgının sesini verip kullanıcıların aynı anda tüm bir orkestrayı seslendirmelerini sağlayan sıralayıcıyı, otomatik vokali, klavye kullanma becerilerini öğreten eğitim programlarını ve birçok başka özelliği sunmaktaydı. Sahip olmadığı tek özellik kaliteli bir piyanonun sesiydi.

Bu önemli kusurla birinci kuşak elektronik piyanoların neden olduğu başarısızlık, elektroniğin piyanonun yerini asla tutamayacağı düşüncesinin yaygınlaşmasına neden oldu. Ancak, akustik piyanonun zaferi kalıcı olmayacaktır. Çok daha kapsamlı özellikleri ve fiyat performansıyla sayısal (dijital) piyanolar, evlerdeki akustik piyanoların eriştiği satışları çoktan aşmış bulunuyor. Birçok gözlemci, sayısal piyanonun çıkardığı "piyanonun" ses kalitesinin, doğrudan akustik piyanonun sesine eşit ya da daha iyi olduğunu düşünmektedir. Konser piyanoları ile lüks kuyruklu piyanolar (bunlar pazarın küçük bir bölümünü oluşturur) dışında akustik piyano satışları düşmektedir.

Keçi Derisinden Karşıdan Yüklemeye

Peki, kitap, teknolojinin yaşam döngüsünün neresindedir? Mezopotamya'nın kil tabletleri ile Mısır'ın papirüs ruloları kitabın öncülleriydi. MÖ ikinci yüzyılda Mısırlı Ptolemaios İskenderiye'de parşömen tomarlarından oluşan büyük bir kütüphane kurdu, rekabetin önüne geçmek için de papirüs ihracatını yasadışı ilan etti.

İlk sayılabilecek kitaplar Antik Yunan'da Bergama Kralı II. Eumenes tarafından, keçi ve koyun derisinden elde edilen ince parşömenlerin tahtadan kapaklar arasına dikilmesiyle üretildi. Bu teknik, Eumenes'in İskenderiye Kütüphanesiyle eşdeğer bir kütüphane kurmasını sağladı. Aynı dönemlerde, Çinliler de bambu yapraklarından yapılan basit bir kitap formu geliştirmişlerdi.

Kitabın gelişip olgunlaşması üç aşamada olmuştur. İlk olarak, MS sekizinci yüzyılda Çinliler tarafından kabartmalı tahta bloklarla denenen baskı, kitapların daha büyük miktarlarda üretilmesini, böylece devlet ve din liderleri dışında da bir okur kitlesinin oluşmasını sağlamıştır. Çok daha önemli bir gelişme ise, on birinci yüzyılda Çinliler ile Korelilerin denemelerde bulunduğu ancak Asya diline özgü harflerin karmaşıklığının bu ilk girişimlerin başarısını engellediği hareketli hurufatla baskının ortaya çıkışıydı. Johannes Gutenberg on beşinci yüzyılda yürüttüğü çalışmalarında, Latin alfabesinin görece yalınlığının yararını görmüştür. Gutenberg 1455 yılında, baştan sona hareketli hurufatla basılan ilk büyük ölçekli çalışmayı gerçekleştirerek İncilini basmıştır.

Mekanik ve elektromekanik baskı süreçlerinde süreklilik gösteren evrimsel ilerlemeler olsa da bundan yirmi yıl önce hareketli hurufatla baskıyı bir kenara iten bilgisayarlı dizginin kullanılmaya başlamasına kadar kitap basımı teknolojisinde başka bir niteliksel sıçrama yaşanmadı. Bugün tipografi, sayısal görüntü işlemenin bir parçası olarak görülüyor.

Kitapların tam olgunlaşmış bir teknolojiye erişmesinin ardından, bundan yirmi yıl önce ilk "elektronik kitap" dalgasıyla, boş iddiacılar ortaya çıktı. Çoğu örnekte olduğu gibi bu boş iddiacılar da heyecan verici niteliksel ve niceliksel yararlar sundular. CD-ROM ve flaş bellek tabanlı elektronik kitaplar güçlü bilgisayar tabanlı arama ve bilgi dolaşımı özellikleriyle binlerce kitaba eşdeğer olabilmektedir. Web, CD-ROM ve DVD tabanlı ansiklopedilerde, kapsamlı mantık kuralları kullanarak hızlıca sözcük aratabiliyorum; ancak elimdeki otuz üç ciltlik basılı "kitap" edisyonuyla bu, kesinlikle mümkün değil. Elektronik kitaplar aynı zamanda, girdiğimiz verilerle uyumlu olarak hareketli resimler gösterebiliyorlar. Zorunlu bir düzenle sıra oluşturmaları gerekmemekle birlikte, sayfalarda daha sezgisel bağlantılarla arama yapmak mümkün.

Taş plak ve piyanoda olduğu gibi, burada da ilk kuşak boş iddiacılar, orijinal olanın temel bir özelliğini, bu sefer kâğıt ile mürekkebin enfes görsel özelliklerini gözden kaçırdılar (hâlâ da kaçırmaktadırlar). Kâğıt titreşmez, oysa tipik bir bilgisayar ekranı saniyede altmış ya da üzeri alan gösterir. Bu, primatların görme sisteminin evrime uyumu nedeniyle bir sorundur. Biz, görsel alanın yalnızca çok küçük bir bölümünü yüksek çözünürlükte görebiliriz. Retinanın çukur kısmında görüntüye dönüştürülen bu bölüm, yaklaşık 50 santim uzaklıktaki tek bir sözcüğün kapladığı bir alana odaklanır. Retinadaki çukurun dışında çözünürlüğümüz çok düşük olmakla birlikte, parlaklık değişikliklerine duyarlılığımız olağanüstüdür; bu duyarlılık, ilkel atalarımızın kendilerine saldırabilecek yırtıcı hayvanları çabucak fark edebilmelerini sağlamıştır. VGA (video grafik dizisi) bilgisayar ekranındaki sürekli titreşme, gözlerimiz tarafından devinim olarak algılanır ve retina çukurunda sürekli oynamaya neden olur. Bu, okuma hızını önemli ölçüde yavaşlatır. Ekrandan yazı okumanın kitaptan okumaya göre daha az zevkli olmasının nedeni de budur. Bu sorun, titreşmeyen düz panel ekranlarla giderilmiştir.

Diğer önemli konular, kontrast –kaliteli bir kitabın mürekkep–kâğıt kontrastı yaklaşık 120:1'dir, ekranlardaki ise bunun hemen hemen yarısıdır– ile çözünürlüktür. Bir kitapta yer alan yazı ve resimler inç [2,54 cm] başına yaklaşık olarak 600 ile 1000 nokta (600–1000 dpi) arasında bir çözünürlük verirken, bilgisayar ekranları bunun onda birini verir.

Bilgisayarlı aygıtların büyüklük ve ağırlıkları kitaplarınkine yaklaşmakla birlikte, bu aygıtlar yine de karton kapaklı kitaplardan ağırdır. Üstelik kâğıda basılan kitapların pili bitmez.

En önemlisi, yazılım bulma sorunudur; bundan kastım basılı kitapların oluşturduğu muazzam kurulu sistemdir. Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl elli bin yeni kitap basılmaktadır; bu sırada milyonlarca kitap da zaten dolaşımdadır. Basılı malzemeyi tarayıp sayısal ortama aktarmak için önemli çalışmalar sürmektedir, ancak elektronik veri tabanlarının kıyaslanabilir varsıllıkta malzemeye sahip olmaları için daha uzun zaman gerekecektir. Buradaki en büyük engel, yasadışı dosya paylaşımının müzik–kayıt endüstrisi üzerindeki yıkıcı etkilerini gördükten sonra, yayıncıların kitaplarının elektronik sürümlerini çıkarmakta yaşadıkları kararsızlıktır.

Bu sınırlamaların her birinin çözümü ortaya çıkmaktadır. Yeni, pahalı olmayan görüntü teknolojileri, yüksek kaliteli kâğıt belgelerle kıyaslanabilecek kontrast ve çözünürlüğü titreşme oluşturmadan ve okura görüş açısı sağlayarak sunmaktadır. Taşınabilir elektronik aygıtların, yakıt kartuşunu değiştirmeden yüzlerce saat süreyle çalışabilmesini sağlayacak yakıt pili enerjisi piyasaya sürülmektedir. Taşınabilir elektronik aygıtlar daha şimdiden bir kitabın boyutu ve ağırlığıyla kıyaslanabilir duruma gelmiştir. Asıl mesele, elektronik bilgiyi piyasaya sürmenin güvenli yollarını bulmak olacaktır. Bu, ekonominin her düzeyi için temel bir kaygıdır. Her şey –yaklaşık yirmi yıl içinde nano teknolojiye dayalı üretim gerçekleştiğinde, fiziksel ürünler dahil her şey– bilgiye dönüşecektir.

Moore Yasası ve Sonrası

ENIAC üzerindeki bir hesap makinesi 18.000 vakum tüpüyle donatılmış ve 30 ton iken, geleceğin bilgisayarları yalnızca 1000 vakum tüpü kullanacak, belki de 1,5 ton ağırlığında olacak.

—*Popular Mechanics* dergisi, 1949

Gökbilim teleskoplarla ne kadar ilgiliyse Bilgisayar Bilimi de o kadar bilgisayarlarla ilgilidir.

—E. W. Dijkstra

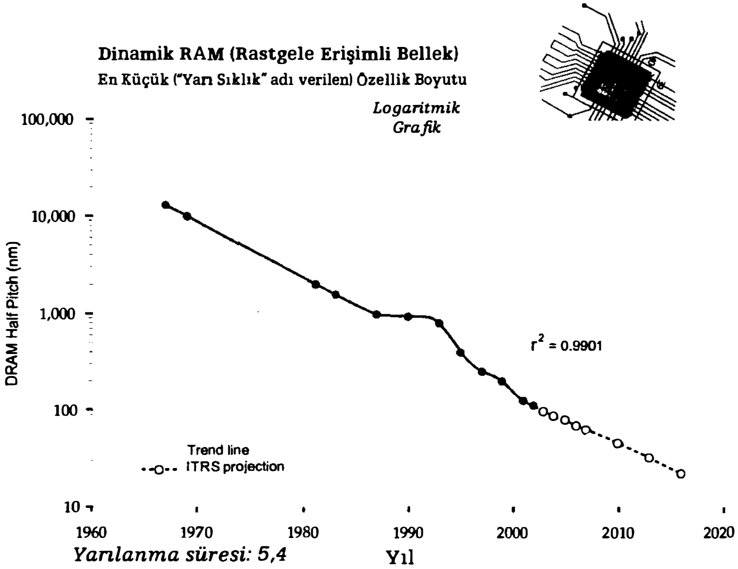
Tekilliği irdelemeye devam etmeden önce, ivmelenen getiriler yasasına tabi, geniş çeşitlilik gösteren teknolojileri inceleyelim. Toplumda en çok tanınan üstel eğilim, Moore Yasası olarak bilinir. Tümleşik devrelerin öncü mucitlerinden, sonradan Intel'in başkanı olan Gordon Moore, 1970'lerin ortalarında, tümleşik bir devreye her yirmi dört ayda bir (1960'ların ortalarında bunu on iki ay olarak öngörmüştü) iki katı daha fazla transistor yerleştirebildiğimizi gözlemlemişti. Elektronların gideceği uzaklığın giderek azalmasıyla devreler daha hızlı çalışacak, böylece bilgi işlemin gücü daha da artacaktı. Sonuç, bilgi işlemin fiyat performansındaki üstel büyümedir. Bu –yaklaşık on iki aylık– katlanma hızı, daha önce sözünü ettiğim, paradigma değişiminin yaklaşık on yıllık katlanma hızından çok daha yüksektir. Bilgi teknolojisinin yeteneklerinin farklı ölçümlerinin –fiyat performansı, bant genişliği, kapasite– ikiye katlanma hızının genelde bir yıl olduğunu görüyoruz.

Moore Yasasının en temel itici gücü, yarı iletken özelliklerinin ölçülerinin her 5,4 yılda bir küçülerek yarıya inmesidir (*bkz.* aşağıdaki şekil). Çipler işlevsel olarak iki boyutlu olduğuna göre bu, milimetrekare başına düşen öge sayısının her 2,7 yılda bir ikiye katlanması demektir.[22]

Aşağıda verilen grafiklerde, tarihsel veriler ile 2018 yılının sonuna kadar öngörülerin yer aldığı yarı iletken endüstrisine ait yol

22 1967–1999 verileri, Intel'in verileridir, *bkz.* Gordon E. Moore, "Our Revolution," http://www. sia-online.org/downloads/Moore.pdf. 2000–2016 verileri, International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS, Uluslararası Yarı İletken Teknolojisi Yol Haritası) 2002 Güncellemesi ve 2004 Güncellemesinde yer alan verilerdir, http://public.itrs.net/Files/2002Update/2002Update. pdf ve http://www.itrs.net/Common/2004Update/2004_00_Overview.pdf.

haritasını (Sematech'in Uluslararası Yarı İletken Teknolojisi Yol Haritası [ITRS]) birleştirilmiştir.

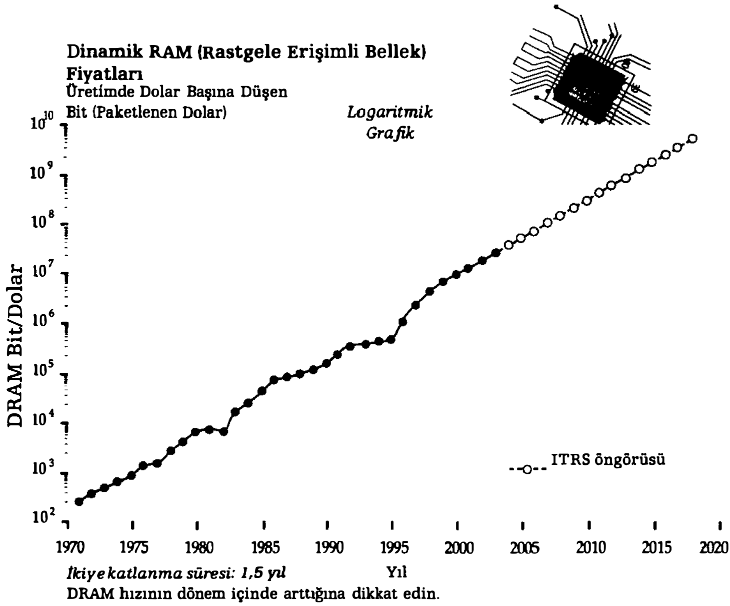


Milimetrekare başına DRAM (Dinamik Rastgele Erişimli Bellek) maliyeti de azalmaktadır. Dolar başına DRAM bitlerinin ikiye katlanma süresi yalnızca 1,5 yıldır.[23]

Benzer bir eğilim transistörlerde de görülmektedir. 1968'de bir dolar karşılığında bir transistör alınabilirken, 2002'de bir dolar karşılığında yaklaşık on milyon transistör alınabiliyordu. DRAM'ın kendi içindeki yeniliklerle özelleşmiş bir alan olması nedeniyle, ortalama transistör fiyatının yarılanma süresi DRAM'ınkine göre biraz daha yavaş, yaklaşık 1,6 yıldır (*bkz.* aşağıdaki şekil).[24]

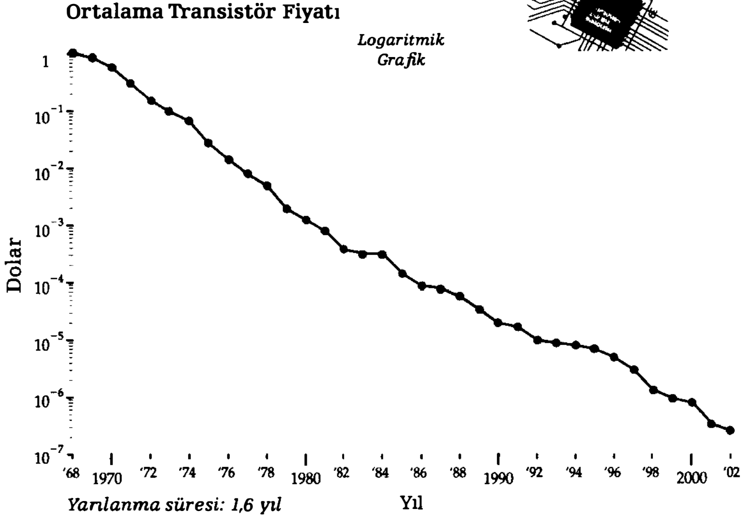
23 ITRS'in DRAM maliyeti, üretimde bit başına (paketli mikrosentler) düşen maliyettir. 1971–2000 verileri VLSI Research Inc. verileridir. 2001–2002 verileri ITRS'in 2002 Güncellemesidir, Tablo 7a, Yakın Dönem Maliyeti, s. 172. 2003–2018 verileri ITRS'in 2004 Güncellemesidir, Tablo 7a ve 7b, Yakın Dönem Maliyeti, s. 20–21.

24 Intel ve Dataquest raporları (Aralık 2002), *bkz.* Gordon E. Moore, "Our Revolution," http:// www.sia-online.org/downloads/Moore.pdf.



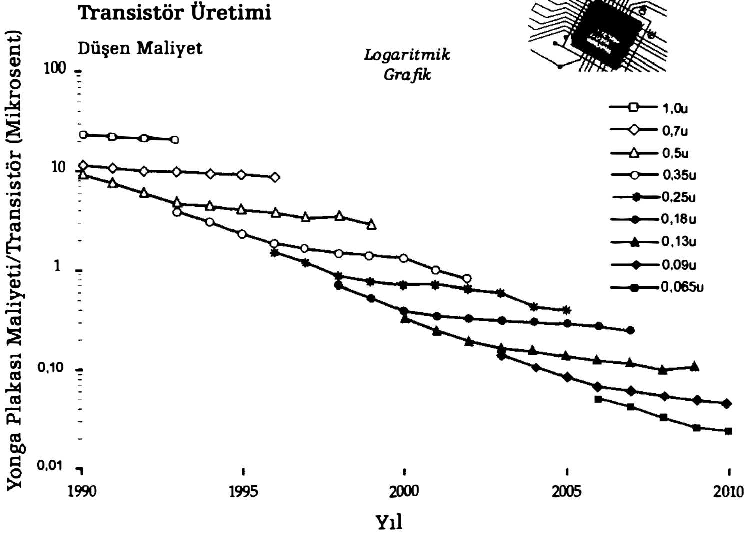
Yarı iletkenlerin fiyat performans artışındaki bu son derece düzenle ivme, (özellik boyutlarıyla tanımlanan) süreç teknolojilerinde gördüğümüz bir dizi aşamadan geçerek çok daha küçük boyutlarda ilerlemiştir. Ana özelliğin büyüklüğü artık yüz nanometrenin altına düşmekte, bu da, "nano teknolojinin" eşiği olarak kabul edilmektedir.[25]

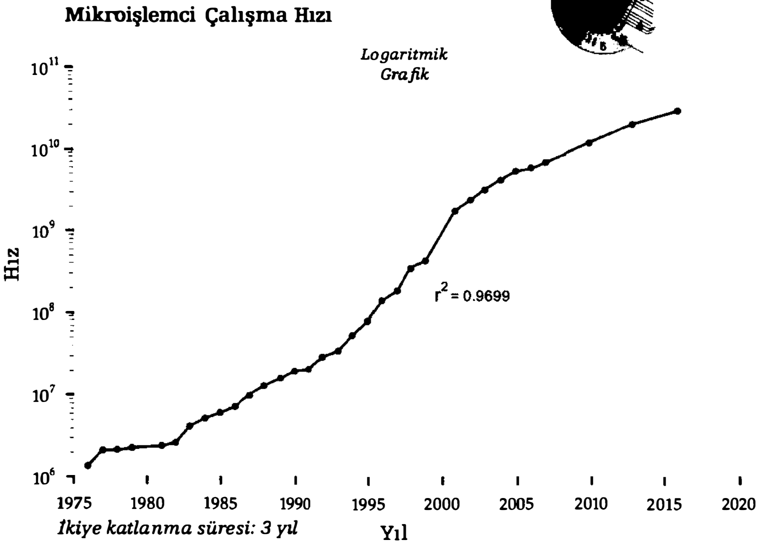
25 Randall Goodall, D. Fandel, ve H. Huffet, "Long-Term Productivity Mechanisms of the Semiconductor Industry," Dokuzuncu Uluslararası Silikon Malzemelerin Bilim ve Teknolojisi Sempozyumu, 12-17 Mayıs 2002, Philadelphia, Electrochemical Society (ECS) ve International Sematech sponsorluğunda gerçekleştirilmiştir.



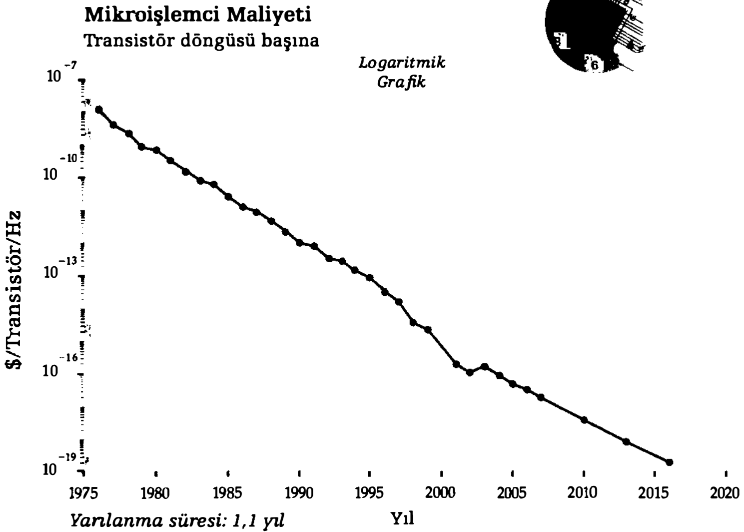
Gertrude Stein'ın gül metaforunun aksine burada "bir transistör bir transistördür" diyemeyiz. Son otuz yıllık sürede transistörler küçülüp ucuzladıkça, hızları da –yine elektronların kat etmeleri gereken uzaklık azaldığı için– yaklaşık bin kat artmıştır (*bkz.* aşağıdaki şekil).[26]

26 1976–1999 verileri: E. R. Berndt, E. R. Dulberger ve N. J. Rappaport, "Price and Quality of Desktop and Mobile Personal Computers: A Quarter Century of History," 17 Temmuz 2000, http://www.nber.org/~confer/2000/si2000/berndt.pdf. 2001–2016 verileri: ITRS, 2002 Güncellemesi, Çip Üzerinde Yerel Çalışma, Tablo 4c: Performans ve Paket Çipler: Çip Üzerinde Kablolama Düzeylerinin Frekansı, Yakın Dönem Yılları, s. 167.


Transistör Üretimi
Düşen Maliyet
Logaritmik
Grafik
Yonga Plakası Maliyeti/Transistör (Mikrosent)
100
10
1
0,10
0,01
1,0u
0,7u
0,5u
0,35u
0,25u
0,18u
0,13u
0,09u
0,065u
1990
1995
2000
2005
2010
Yıl


Mikroişlemci Çalışma Hızı
Logaritmik
Grafik
Hız
10^{11}
10^{10}
10^{9}
10^{8}
10^{7}
10^{6}
r^2 = 0.9699
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
2015
2020
İkiye katlanma süresi: 3 yıl
Yıl

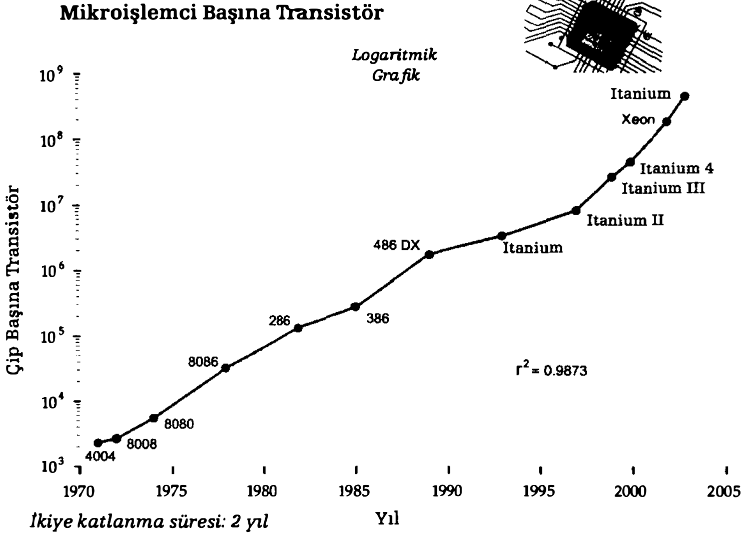
Daha az pahalı transistörlerle daha hızlı döngü sürelerini hedefleyip üstel eğilimleri birleştirirsek, transistör çevrimi başına maliyette yalnızca 1,1 yıllık bir yarılanma süresi elde ederiz (*bkz.* aşağıdaki şekil).[27] Hem hızı hem de kapasiteyi hesaba kattığı için transistor döngüsü başına maliyet, fiyat performansının genel ölçümü için daha doğrudur. Ama transistör başına maliyet yine de bilgi işlemin verimliliğini artıran daha üst tasarım düzeylerindeki (mikroişlemci tasarımı gibi) yenilikleri hesaba katmaz.

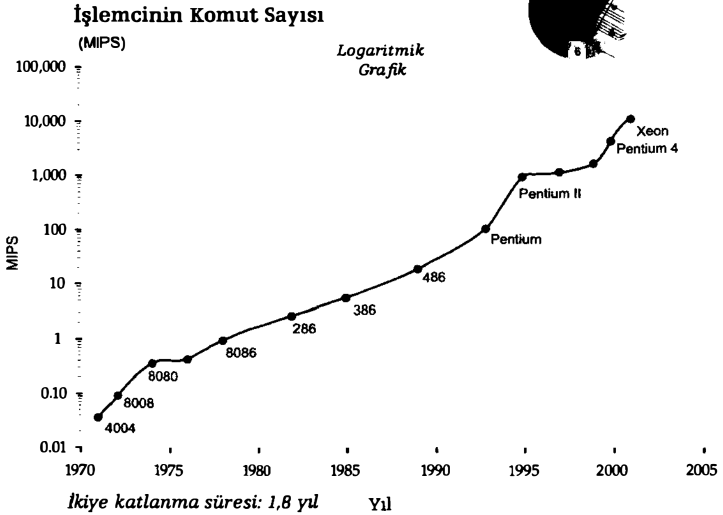


Intel işlemcilerdeki transistörlerin sayısı her iki yılda bir ikiye katlanmıştır (*bkz.* aşağıdaki şekil). Çalışma hızı, mikroişlemci başına maliyetteki düşüş ve işlemci tasarımındaki yenilikler gibi bazı unsurlar fiyat performansını ayrıca artırmıştır.[28]

27 Çalışma hızı (devir süresi) için *bkz.* 26. not, transistör başına maliyet için *bkz.* 24. not.

28 Mikroişlemciler üzerinde Intel transistörleri: *Microprocessor Quick Reference Guide,* Intel Araştırma, http://www.intel.com/pressroom/kits/quickrefyr.htm. *Ayrıca bkz.* Silikon Araştırma Alanları, Intel Araştırma, http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm.





Bir işlemcinin bir saniyede işlediği komut sayısının (MIPS) işlemci başına düşen işlemci performansı her 1,8 yılda ikiye katlan-

mıştır (*bkz.* aşağıdaki şekil). İşlemci başına düşen maliyetin, bu dönemde de düştüğüne dikkat edin.[29]

Bu endüstride geçirdiğim kırk yılı aşkın sürede edindiğim deneyime dayanarak 1960'ların sonlarında Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde bir öğrenci olarak kullandığım bilgisayar ile son dizüstü bilgisayarlar arasında kıyaslama yapabilirim. 1967'de 32K (36 bit) sözcük belleği, çeyrek MIPS işlemci hızına sahip, milyonlarca dolar değerinde bir IBM 7094'ü kullanma hakkım vardı. 2004 yılında, yarım milyar bitlik RAM, yaklaşık 2000 MIPS işlemci hızına sahip, 2000 dolar değerinde bir kişisel bilgisayar kullandım. Massachusetts Teknoloji Enstitüsünün bilgisayarı hemen hemen bin kat daha pahalıydı; dolayısıyla, MIPS başına maliyetin oranı yaklaşık sekiz milyona birdir.

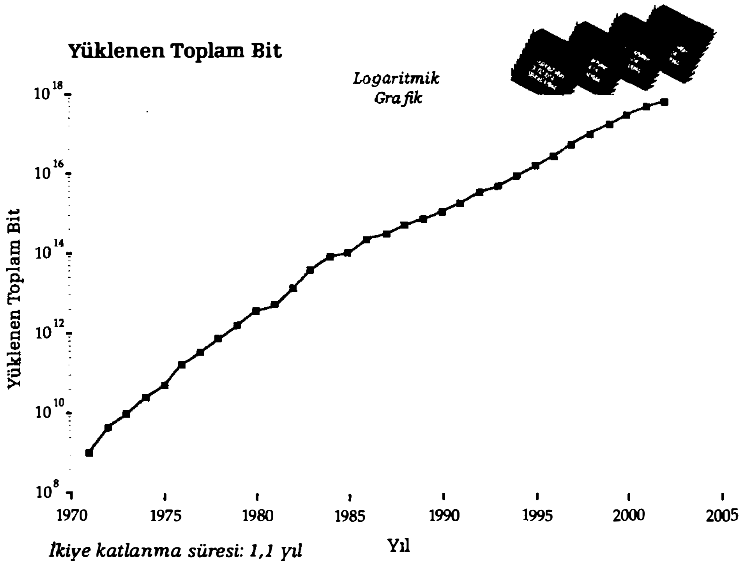
Ölçü	**IBM 7094 1967 dolayları**	**Dizüstü bilgisayar 2004 dolayları**
İşlemci Hızı (MIPS)	0,25	2000
Ana Bellek (KBit)	144	256.000
Ortalama Maliyet (2003 Dolar kuru)	11.000.000 $	2000 $

Şimdiki bilgisayarım, 1967 yılında kullandığım bilgisayardan 224 kez daha düşük bir maliyetle, 2000 MIPS işleme gücüne sahip. Bu, 37 yılda 24 kez ikiye katlanma ya da her ikiye katlanma için 18,5 ay demektir. Eğer, yaklaşık 2000 katı daha büyük olan RAM'ın artırılmış değeri, disk bellekteki büyük gelişmeleri ve 2004 yılı dolaylarındaki bilgisayarımın çok daha güçlü komut kümesiyle birlikte iletişim hızlarındaki büyük ilerlemeyi, daha güçlü yazılımları ve diğer etmenleri hesaba katarsak, ikiye katlanma süresi daha da aşağılara düşer.

Bilgi teknolojilerinin maliyetindeki bu büyük çaplı düşüşe karşılık talep, olageldiğinden de fazlasıyla artmıştır. Gönderilen bit sayısı her 1,1 yılda iki katına çıkmıştır; bu da bit başına ma-

29 Intel Corporation'ın verileri. *Ayrıca bkz.* Gordon Moore, "No Exponential Is Forever... but We Can Delay 'Forever'," ISSCC, Uluslararası Katı Hal Devreleri Konferansında sunum, 10 Şubat 2003, ftp://download.intel.com/research/silicon/Gordon_Moore_ISSCC_021003.pdf.

liyetin 1,5 yıl olan yarılanma süresinden daha hızlıdır.[30] Sonuç olarak yarı iletken endüstrisi 1958'den 2002'ye kadar olan toplam gelirlerinde yıllık yüzde 18'lik bir artış görmüştür.[31] Tüm bilişim teknolojisi endüstrisi 1977 yılında gayrisafi yurtiçi hasılanın yüzde 4,2'sini oluştururken, bu oran artarak 1998 yılında yüzde 8,2 olmuştur.[32] Bilişim teknolojileri, ekonominin tüm sektörlerinde giderek daha etkili duruma gelmiştir. Bilişim teknolojilerinin, çoğu kategoride yer alan ürün ve hizmetlere kattığı değerin payı hızla artmaktadır. Masa, sandalye gibi sıradan ürünler bile bilgisayarla yapılan tasarımların yanı sıra demirbaş satın alma ve montajda kullanılan otomatik üretim sistemlerinin programlanmasıyla oluşan bir bilgi içeriğine sahiptir.



30 Steve Cullen, "Semiconductor Industry Outlook," InStat/MDR, rapor no. IN0401550SI, Nisan 2004, http://www.instat.com/abstract.asp?id=68&SKU=IN0401550SI.

31 Dünya Yarı İletken Ticareti İstatistik Kurumu, http://wsts.www5.kcom.at.

32 Ekonomik Analiz Bürosu, ABD Ticaret Bakanlığı, http://www.bea.gov/bea/dn/home/gdp. htm.

İkiye Katlanma (ya da Yarılanma) Süreleri[33]

Dinamik RAM "Yarı Sıklık" özellik boyutu (en küçük çip özelliği)	5,4 yıl
Dinamik RAM (dolar başına düşen bit)	1,5 yıl
Ortalama Transistör Fiyatı	1,6 yıl
Transistör Döngüsü Başına Düşen Mikroişlemci Maliyeti	1,1 yıl
Gönderilen Toplam Bit Sayısı	1,1 yıl
MIPS İşlemci Performansı	1,8 yıl
Intel Mikroişlemcilerin Transistörleri	2,0 yıl
Mikroişlemci Çalışma Hızı	3,0 yıl

Moore Yasası: Kendini Gerçekleştiren Kehanet mi?

Bazı gözlemciler, Moore Yasasının kendini gerçekleştiren bir kehanetten başka bir şey olmadığını öne sürmüşlerdir: Yani endüstri temsilcileri, geleceğin belli dönemlerinde nerede olmaları gerektiğini öngörüp, araştırma geliştirme çalışmalarını o yönde düzenlerler. Endüstrinin kendi çizdiği yol haritası buna güzel bir örnektir.[34] Ancak, bilişim teknolojisindeki üstel eğilimler, Moore Yasasının ele aldığından çok daha geniştir. Aynı tipteki eğilimleri temelde bilgiyle uğraşan her teknolojide ya da ölçümde de görürüz. Bu, hızlanarak artan fiyat–performans algısının var olmadığı ya da henüz ifade edilmediği birçok teknolojiyi de içermektedir (*bkz.* aşağıdaki şekil). Bilişimin kendi içinde bile birim maliyetin kapasitesindeki artış, Moore Yasasının tek başına öngörebildiğinden çok daha fazladır.

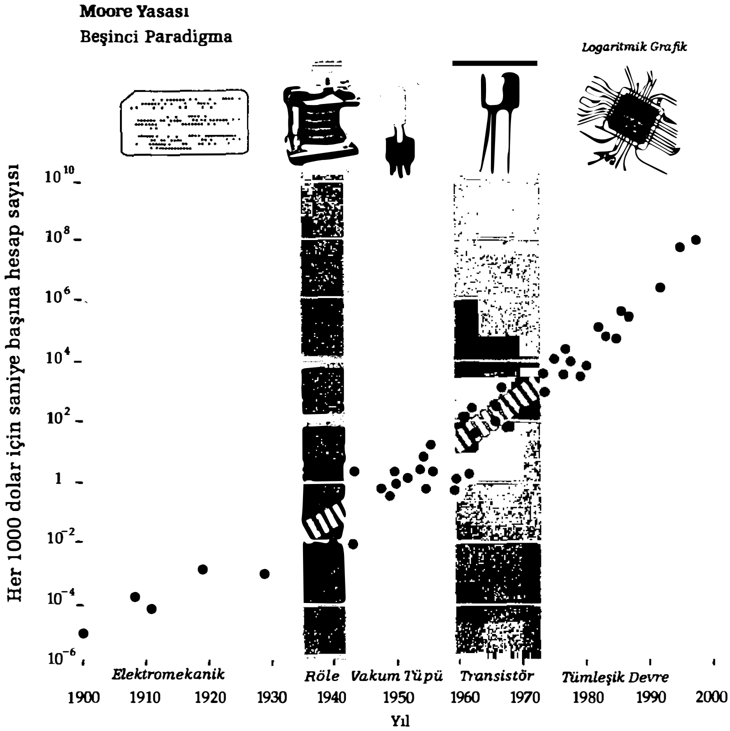
Beşinci Paradigma[35]

Moore Yasası aslında bilgi işlem sistemlerindeki ilk paradigma değildir. Bu, yirminci yüzyıla yayılmış kırk dokuz ünlü bilgi işlem sistemi ile bilgisayarın –her bin dolar başına düşen saniye başına komut sayısıyla ölçülen– fiyat performansı grafiğinde görülebilir (*bkz.* aşağıdaki şekil).

33 *Bkz.* 22–24. ve 26–30. notlar.

34 Uluslararası Yarı İletken Teknolojisi Yol Haritası, 2002 Güncellemesi, International Sematech.

35 "25 Years of Computer History," http://www.compros.com/timeline.html; Linley Gwennap, "Birth of a Chip," *BYTE* (Aralık 1996), http://www.byte.com/art/9612/sec6/art2.htm; "The CDC 6000 Series Computer," http://www.moorecad.com/standardpascal/cdc6400.html; "A Chronology of Computer History," http://www.cyberstreet.com/hcs/museum/chron.htm; Mark Brader,



Bilgi işlemin üstel büyümesinin beş paradigması: Bir paradigmanın hızı kesildiğinde bir diğeri hızlanmıştır.

"A Chronology of Digital Computing Machines (to 1952)," http://www.davros.org/misc/chronology.html; Karl Kempf, "Electronic Computers Within the Ordnance Corps," Kasım 1961, http://ftp.arl.mil/~mike/comphist/61ordnance/index.html; Ken Polsson, "Chronology of Personal Computers," http://www.islandnet.com/~kpolsson/comphist; "The History of Computing at Los Alamos," http://bang.lanl.gov/video/sunedu/computer/ comphist.html (şifre gereklidir); the Machine Room, http://www.machine-room.org; Mind Machine Web Müzesi, http://www.userwww.sfsu.edu/~hl/mmm.html; Hans Moravec, bilgisayar verisi, http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/book97/ch3/processor.list; "PC Magazine Online: Fifteen Years of PC Magazine," http://www.pcmag.com/article2/0,1759,23390,00. asp; Stan Augarten, *Bit by Bit: An Illustrated History of Computers* (New York: Ticknor and Fields, 1984); IEEE, Uluslararası Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Birliği, *Annals of the History of the Computer* 9.2 (1987): 150–53 ve 16.3 (1994): 20; Hans Moravec, *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence* (Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1988); René Moreau, *The Computer Comes of Age* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1984).

Şekilde gösterildiği gibi, gerçekte, tümleşik devrelerin bulunmasından çok önce bile, bilgi işlemin fiyat performansındaki üstel büyümeyi gösteren dört farklı paradigma –elektromekanik, röleler, vakum tüpleri ve ayrık transistörler– bulunuyordu. Moore Yasası da sonuncu olmayacaktır. Moore Yasası, 2020'den önce beklendiği gibi S eğrisinin sonuna ulaştığında, üstel büyüme altıncı paradigmayı oluşturacak üç boyutlu moleküler bilgi işlemle sürecektir.

Fraktal Boyutlar ve Beyin

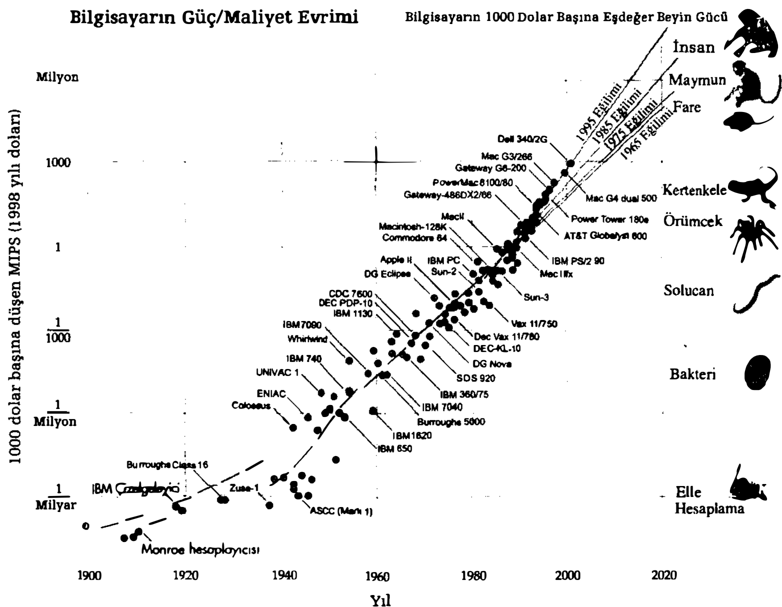
Üçüncü boyutun bilgi işlem sistemlerindeki kullanımının alternatifler arasındaki bir seçim olmayıp, iki ve üç boyut arasındaki süreğenlik olduğuna dikkat edin. Biyolojik zekâya gelince, insanın beyin zarı aslında oldukça düzdür; yüzey alanını oldukça artıran bir mimariyle, yalnızca hassas kıvrımlı altı ince tabakadan oluşur. Bu kıvrımlar, üçüncü boyutu kullanmanın bir yoludur. "Fraktal" sistemlerde (çizimi bir diğeriyle değiştirme ya da bir kıvrılma kuralının yinelenerek uygulandığı sistemler), hassas kıvrımlı yapıların kısmi bir boyutu oluşturduğu kabul edilir. Bu açıdan bakıldığında, insanın beyin zarının son derece kıvrımlı yüzeyi, iki ile üç arasında birkaç boyutu temsil eder. Beynin beyincik gibi diğer yapıları üç boyutlu olmakla birlikte, temelde iki boyutlu yinelenen bir yapı içerirler. Gelecekteki bilgi işlem sistemlerinin de bütünüyle üç boyutlu yapıya sahip, çok kıvrımlı iki boyutlu sistemler olması olasıdır.

Grafikteki şeklin, logaritmik ölçekteki üstel bir eğrinin üzerinde iki üstel büyüme düzeyini gösterdiğine dikkat edin.[36] Bir başka deyişle, üstel büyümenin *hızında* hafif ama kuşku götürmez bir üstel büyüme vardır. (Logaritmik ölçekteki duş bir çizgi, basit üstel büyümeyi gösterir; yukarıya doğru eğrilen bir çizgi basit-

36 Bu bölümde, "Logaritmik Grafik" başlığıyla verilen grafikler, bir eksenin (zaman) doğrusal ölçekte, diğer eksenin ise logaritmik ölçekte yer alması nedeniyle teknik olarak yarı logaritmik grafiklerdir. Ancak yalınlaştırabilmek için bu grafiklerden "logaritmik grafik" olarak söz ediyorum.

ten daha yukarıdaki üstel büyümeyi gösterir.) Görüldüğü gibi, yirminci yüzyılın başında bilgi işlem alanında fiyat performansının ikiye katlanması üç yıl, yüzyılın ortalarında iki yıl sürmüş, şu anda ise bir yıl sürmektedir.[37]

Hans Moravec de farklı, ancak örtüşen bir tarihsel bilgisayar kümesi kullanarak, zaman içinde farklı noktalardaki eğim çizgilerini (eğimlerini) belirten benzer bir grafik gösterir (*bkz.* aşağıdaki şekil). Yukarıdaki şekilde ise eğim zaman içinde artarak üstel büyümenin ikinci düzeyini yansıtmaktadır.[38]

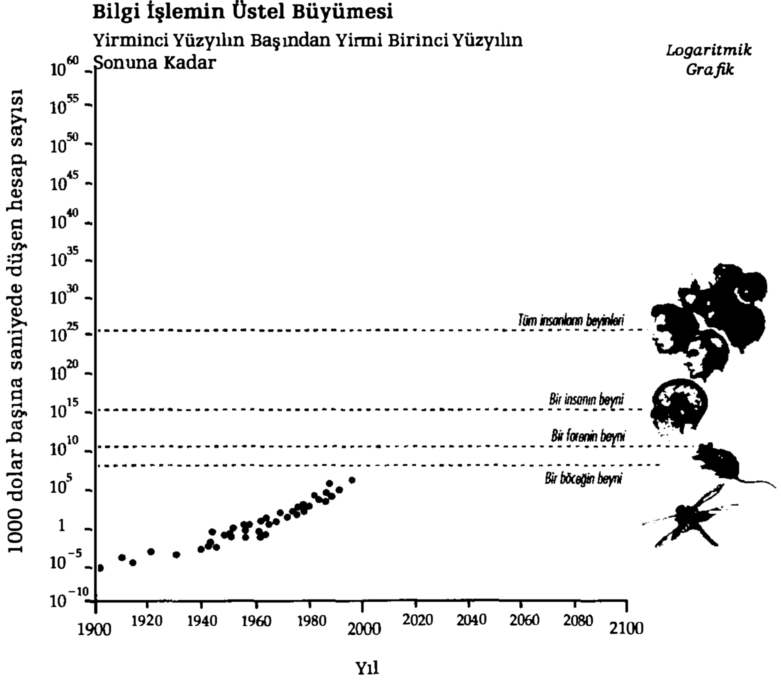


Bilgi işlemdeki bu performans eğilimlerinin izdüşümlerini içinde bulunduğumuz yüzyıla yansıtırsak, aşağıdaki şekilde gös-

37 *Bkz.* "Ek: İvmelenen Getiriler Yasasının Yeniden Ele Alınması" bölümü. Bu bölüm, birim maliyet başına düşen MIPS ile ölçülen bilgi işlem gücünde neden iki üstel gelişme düzeyi olduğunun (yani, doğrudan üstel büyümenin hızının –üssün– zaman içinde üstel olarak büyüdüğü üstel büyüme) matematiksel açıklamasını vermektedir.

38 Hans Moravec, "When Will Computer Hardware Match the Human Brain?" *Journal of Evolution and Technology* 1 (1998), http://www.jetpress.org/volume1/moravec.pdf.

terildiği gibi, süper bilgisayarların insan beyninin yeteneklerine bu on yılın sonunda, kişisel bilgi işlemin ise 2020 yılı dolaylarında –insan beyninin yetenekleri konusunda ne kadar tutucu bir değer biçeceğimize bağlı olarak belki de daha önce– eşleneceğini görürüz. (İnsan beyninin bilgi işlem hızını sonraki bölümde irdeleyeceğiz.)[39]

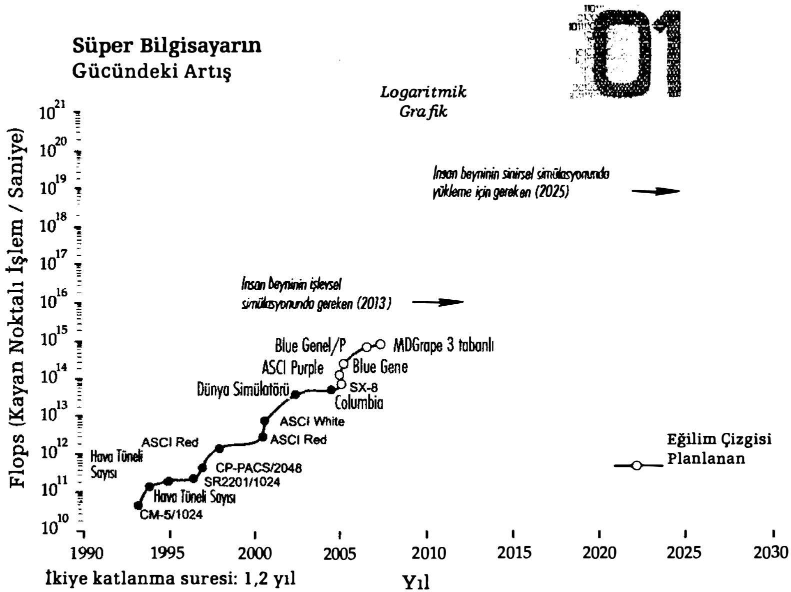


Bilgi işlemin üstel büyümesi, bir evrim sürecinden elde edilen, üstel olarak büyüyen faydaya olağanüstü güzel bir niceliksel örnek oluşturmaktadır. Bilgi işlemin üstel büyümesini bu büyümenin artan hızlanışıyla ifade edebiliriz: Bin dolar başına düşen ilk MIPS'leri elde etmek doksan yıl sürmüşken bugün bin dolar başına düşen MIPS'i her beş saatte bir MIPS artırıyoruz.[40]

39 *Bkz.* yukarıdaki 35. not.

40 1000$ başına düşen ilk MIPS'i elde etmek için 1900'den 1990'a kadar süre geçmesi gerekti. Bugün 1000$ başına düşen MIPS sayısını yaklaşık 400 gün-

IBM'in 2007'de piyasaya çıkması beklenen süper bilgisayarı Blue Gene/P'nin bir milyon gigaflop (milyar kayan noktalı işlem/saniye) ya da saniyede 10^{15} işlem gücüyle çalışması planlanmıştır.[41] Bu, insan beyninin benzerini yapabilmek için gereken saniyede 10^{16} işlemin onda biridir (*bkz.* sonraki bölüm). Bu üstel eğriyi kullanarak bir öngörüde bulunursak, 2010'ların başlarında saniyede 10^{16} işlemlik bir sonuç elde ederiz.



Yukarıda irdelendiği gibi, Moore Yasasında, sabit büyüklükteki tümleşik bir devre üzerinde bulunan transistör sayısına çok kısıtlı değinilir. Yasa, yer yer transistör özellik boyutu açısından daha da kısıtlı ifade edilmiştir. Ancak fiyat performansını izlemek için en uygun ölçüm, birçok farklı "zekilik" (yenilik, yani teknolojik evrim) düzeyini hesaba katan bir endeks olan birim maliyet başı-

de ikiye katlayabiliyoruz. Şu andaki fiyat performansı 1000$ başına 2000 MIPS olduğu için de fiyat performansını günde 5 MIPS'lik ya da 5 saatte 1 MIPS'lik bir hızla artırıyoruz.

41 "IBM Details Blue Gene Supercomputer," CNET News, 8 Mayıs 2003, http://news.com. com/2100-1008_3-1000421.html.

na bilgi işlem hızıdır. Tümleşik devrelerle ilgili tüm buluşlara ek olarak, bilgisayar tasarımında çeşitli gelişim katmanları da yer alır (örneğin, ardışık düzen, paralel işleme, gelecek komutu izleme, komut belleği ile önbellek ve birçok diğerleri).

İnsan beyni, verimi çok düşük bir elektrokimyasal, sayısal kontrollü analog bilgi işlem süreciyle çalışır. Yaptığı işlemlerin büyük çoğunluğu nöron bağlantılarında, (her bağlantıda) saniyede yaklaşık yalnızca iki yüz işlemlik bir hızla gerçekleştirilir, bu hız da çağdaş elektronik devrelerin hızından en az bir milyon kez yavaştır. Ama beyin, o olağanüstü güçlerini son derece paralel *üç boyutlu* düzeninden alır. Ancak bir sonraki bölümde irdeleyeceğim gibi, devreyi üç boyutlu olarak kuracak birçok teknoloji sahneye çıkmak için sırasını beklemektedir.

Bilgi işlem sürecini destekleyen madde ve enerjideki kapasitenin doğal sınırları olup olmadığını sorabiliriz. Bu önemli bir konu olmakla birlikte, sonraki bölümde göreceğimiz gibi, bulunduğumuz yüzyılın sonlarına kadar bu sınırlara yaklaşamayacağız. Herhangi bir belirli teknoloji paradigması için tipik olan S eğrisi ile bilgi işlem gibi geniş bir teknoloji alanında süregelen evrim süreci için tipik olan sürekli üstel büyümeyi ayırt edebilmek önemlidir. Moore Yasası gibi belirli paradigmalar son kertede üstel büyümenin artık uygulanabilir olmadığı düzeylere erişir. Ancak bilgi işlemdeki büyüme, temelinde yatan tüm paradigmaların yerine geçer ve bugün için belirlenmiş hedeflere göre süregelen bir üstel değere sahiptir.

Paradigma değişimi (yenilik olarak da adlandırılır), ivmelenen getiriler yasasına uygun olarak herhangi bir belirli paradigmanın S eğrisini sürekliliği olan bir üstel değere dönüştürür. Üç boyutlu devreler gibi yeni bir paradigma ise, bilgi işlemin tarihinde en az dört kez yaşandığı üzere, eski paradigma doğal sınırlarına yaklaşınca devreye girer. Maymunlar gibi insan olmayan türler arasında, her hayvanın araç yapma ya da kullanma yeterliliği, ansızın sonlanan S biçimli bir öğrenme eğrisiyle nitelenir. Buna karşın, insanın yarattığı teknoloji, ortaya çıkmasından bu yana üstel bir büyüme ve ivme örüntüsü içinde gelişmiştir.

DNA Dizi Analizi, Bellek, İletişim, İnternet ve Minyatürleştirme

Uygarlık, üzerinde düşünmeden yapabileceğimiz önemli işlemlerin sayısının çoğalmasıyla ilerler.
—Alfred North Whitehead, 1911[42]

Artık her şey eskiden olduğundan çok daha fazla kendisi gibi.
—Dwight D. Eisenhower

İvmelenen getiriler yasası, teknolojinin tümü, aslında da bütün evrimsel süreçler için geçerlidir. Bilgi tabanlı teknolojiler ölçüm için iyi tanımlanmış göstergeler sunduğundan (örneğin, dolar başına düşen saniyedeki işlem sayısı ya da gram başına düşen saniyedeki işlem sayısı), ivmelenen getiriler yasasını bu teknolojilerde olağanüstü bir kesinlikle göstermek mümkündür. Yasanın yansımalarının görüldüğü her tür elektronik ürün, DNA dizi analizi, iletişim, beyin tarama, beyinde ters mühendislik, insanın sahip olduğu bilginin boyutu ve kapsamı ile teknolojinin hızla küçülme boyutu gibi çok farklı alanlarda, üstel büyümeye verilebilecek sonsuz örnek vardır. Sonuncu eğilim doğrudan nano teknolojinin doğuşuna bağlıdır.

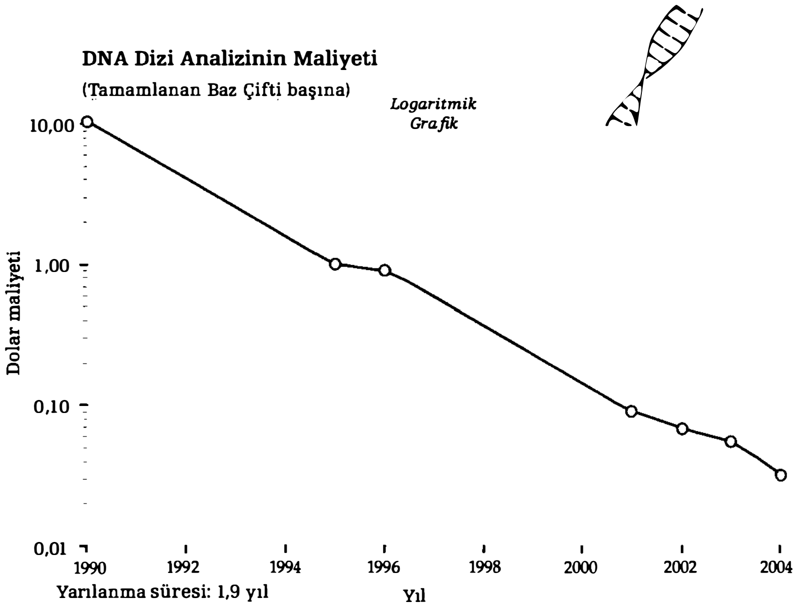
Geleceğin GNR (Genetik, Nano teknoloji, Robotik) çağı (*bkz.* beşinci bölüm) yalnızca bilgi işlemde ortaya çıkacak üstel patlamadan değil, daha çok, iç içe geçmiş çeşitli teknolojik ilerlemelerle ortaya çıkacak etkileşim ve sayısız sinerjiden doğacaktır. Bu teknolojiler dizisinin temelinde yatan üstel büyüme eğrilerinin üzerindeki noktaların her biri yenilik ve rekabet alanındaki yoğun bir insanlık sahnesini temsil ettiğinden, bu kaotik süreçlerin böylesine pürüzsüz ve öngörülebilir üstel eğilimlerle sonuçlanmasının kayda değer olduğunu düşünmeliyiz. Bu bir rastlantı değil, evrim sürecinin doğal bir özelliğidir.

---

42 *Bkz.* Alfred North Whitehead, *An Introduction to Mathematics* (Londra: Williams and Norgate, 1911). Whitehead bu kitabı Bertrand Russell'la birlikte yazdıkları, çığır açan üç ciltlik kitapları *Principia Mathematica* üzerinde çalıştığı sırada yazmıştır.

İnsan genomu taramalarının yol almaya başladığı 1990'larda, eleştirmenler projenin, genomun o zamanki taranma hızıyla ancak binlerce yıl sonra biteceğine işaret etmişlerdi. Oysa on beş yıllık bu proje 2003 yılında ortaya çıkan ilk taslakla öngörülenden biraz daha erken tamamlandı.[43]

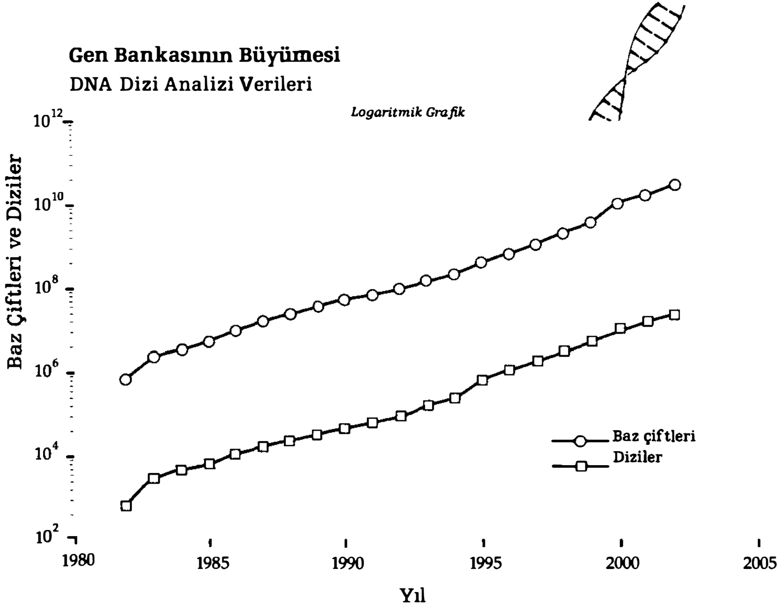
DNA dizi analizinin maliyeti, baz cifti başına 1990'lardaki yaklaşık on dolardan 2004 yılında birkaç peniye inmiştir, hâlâ da hızla düşmektedir (*bkz.* aşağıdaki şekil).[44]



43 Başlarda on beş yıl süreceğinin öngörülmesine karşın "İnsan Genomu Projesi" planlanandan iki buçuk yıl erken, yine öngörülen maliyetin çok altında, 1991 mali yılının değerleriyle 2,7 milyar dolara mal edilerek tamamlanmıştır: http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/project/50yr/press4_2003.shtm.

44 İnsan Genomu Projesi Bilgileri, http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/project/privatesector.shtml; Stanford Genom Teknolojisi Merkezi, http://sequence-www. stanford.edu/group/techdev/auto.html; Ulusal İnsan Genomu Araştırma Enstitüsü, http:// www.genome.gov; Tabitha Powledge, "How Many Genomes Are Enough?" *Scientist*, 17 Kasım 2003, http:// www.biomedcentral.com/news/20031117/07.

Toplanan DNA dizi analizi verilerinin miktarında düzenli bir üstel büyüme olmuştur (*bkz.* aşağıdaki şekil).[45] Bu kapasitenin artışına verilebilecek son dönemlere ait çarpıcı bir örnek, HIV virüsünün dizi analizi on beş yıldan uzun sürmüşken, SARS virüsünün dizi analizinin virüsün tanımlanmasından yalnızca otuz bir gün sonra tamamlanmış olmasıdır.[46]



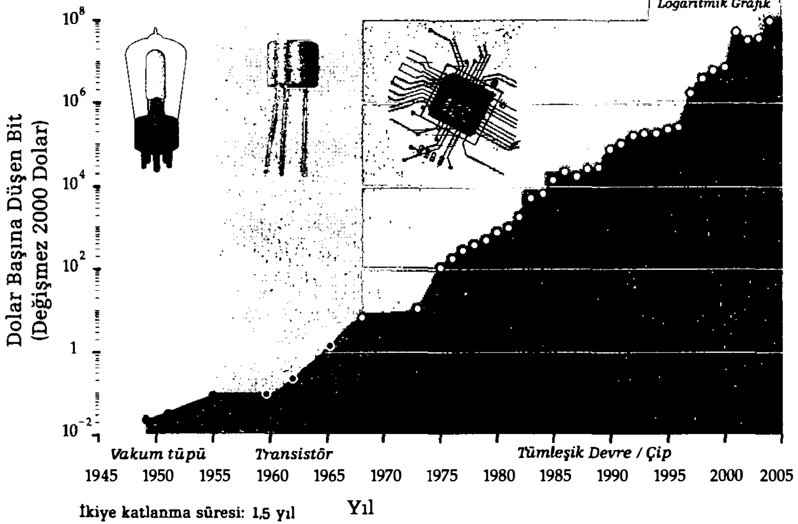
45 Ulusal Biyoteknoloji Bilgi Merkezinden alınan bilgi, "GenBank Statistics," yeniden gözden geçirilme tarihi 4 Mayıs 2004, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/genbankstats.html.

46 Ağır akut solunum yolu yetersizliği sendromunun (SARS) dizi analizi, virüsün İngiliz Kolombiyası Kanser Bürosu ile Amerikan Hastalık Önleme Merkezi tarafından belirlenmesinden otuz bir gün sonra yapılmıştır. İki merkezin yaptığı dizi analizleri, yirmi dokuz bin çift içinden yalnızca on baz çiftinde farklılık göstermiştir. Bu çalışmayla SARS bir koronavirüs olarak belirlenmiştir. Hastalık Kontrol Merkezinin direktörü Dr. Julie Gerberding, bu hızlı dizi analizini "böyle bir bilimsel başarının tarihimizde görüldüğünü sanmıyorum," sözleriyle tanımlamıştır. *Bkz.* K. Philipkoski, "SARS Gene Sequence Unveiled," *Wired News,* 15 Nisan 2003, http://www.wired.com/news/medtech/0,1286,58481,00.html?tw=wn_story_related.
Buna karşın, HIV virüsünün dizi analizi çabaları 1980'lerde başladı. HIV1 ile HIV2 sırasıyla 2003 ve 2002 yıllarında tümüyle analiz edilmişti. Ulusal Biyoteknoloji Bilgi Merkezi, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genomes/framik. cgi?db=genome&gi=12171; Los Alamos Ulusal Laboratuvarı tarafından tutulan HIV Dizisi Veri Tabanı, http://www.hiv.lanl.gov/content/hiv-db/HTML/outline.html.

Üstel büyümeyi elbette RAM gibi elektronik belleklerde de görmeyi bekleriz. Ancak, bu (aşağıdaki) logaritmik grafikteki eğilimin farklı teknoloji paradigmalarında, vakum tüplerinden ayrık transistörlere, ayrık transistörlerden tümleşik devrelere, nasıl düzenli biçimde ilerlediğine dikkat edin.[47]

Rastgele Erişimli Bellek (RAM)

Dolar Başına Düşen Bit (1949-2004)

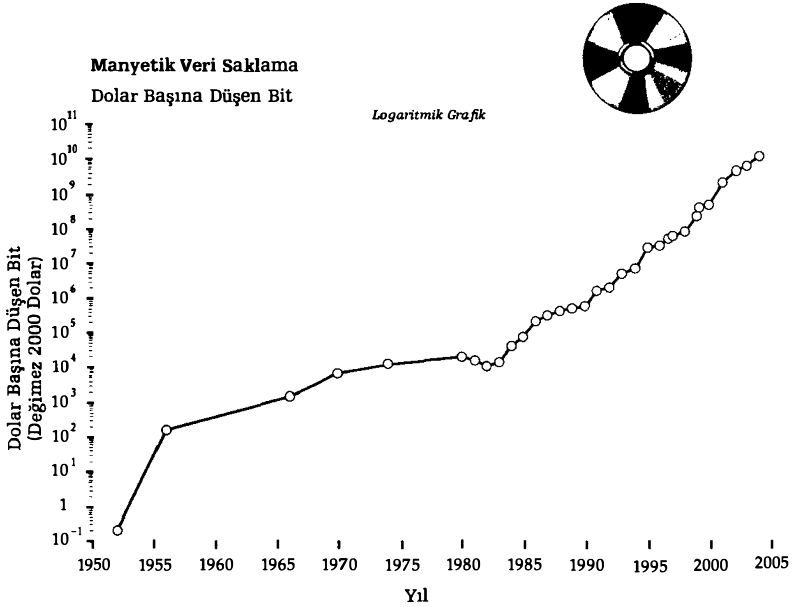


Paradigma değişimleri genelinde RAM kapasitesindeki üstel büyüme.

Ancak, manyetik (disk sürücü) belleğin fiyat performansındaki artış, Moore Yasası sonucunda olmamıştır. Bu üstel eğilim, tran-

47 ·Mark Brader,"A Chronology of Digital Computing Machines (to 1952)," http://www.davros.org/misc/chronology.html; Richard E. Matick, *Computer Storage Systems and Technology* (NewYork: John Wiley and Sons, 1977); Cambridge Üniversitesi Bilgisayar Laboratuvarı, EDSAC99, http://www.cl.cam.ac.uk/UoCCL/misc/EDSAC99/statistics.html; Mary Bellis, "Inventors of the Modern Computer: The History of the UNIVAC Computer – J. Presper Eckert and John Mauchly," http://inventors.about.com/library/weekly/aa062398.htm; "Initial Date of Operation of Computing Systems in the USA (1950–1958)," 1968 OECD verilerinden derlenmiştir, http://members.iinet.net.au/~dgreen/timeline.html; Douglas Jones, "Frequently Asked Questions about the DEC PDP-8 computer," ftp://rtfm.mit.edu/pub/usenet/ alt.sys.pdp8/PDP-8_Frequently_Asked_Questions_%28posted_every_other_month%29; *Programmed Data Processor-1 Handbook*, Digital Equipment Corporation (1960-1963), http://www.dbit.com/~greeng3/pdp1/pdp1.html#INTRODUCTION; John Walker,

sistörlerin tümleşik bir devre üzerine sıkıştırılmasını değil, farklı mühendisler ve farklı şirketlerin üzerinde çalıştığı bambaşka bir teknik çabayı, verinin manyetik bir alt katmana sıkıştırılmasını yansıtır.[48]

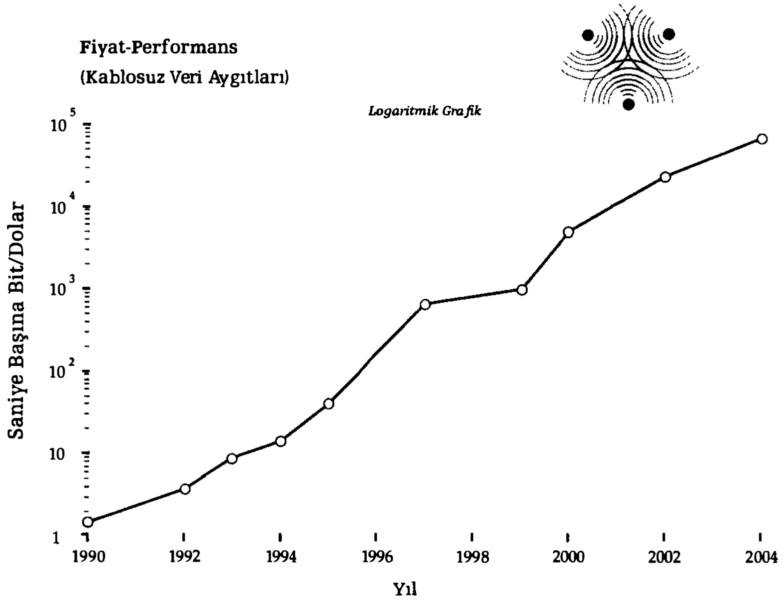


"Typical UNIVAC® 1108 Prices: 1968," http://www.fourmilab.ch/documents/ univac/config1108. html; Jack Harper, "LISP 1.5 for the Univac 1100 Mainframe," http://www.frobenius.com/ univac.htm; Wikipedia, "Data General Nova," http://www.answers.com/topic/data-general-nova; Darren Brewer, "Chronology of Personal Computers 1972–1974," http://uk.geocities. com/ magoos_universe/comp1972.htm; www.pricewatch.com; http://www. jc-news.com/ parse.cgi?news/pricewatch/raw/pw-010702; http://www. jc-news.com/parse.cgi?news/pricewatch/raw/pw-020624; http://www.pricewatch.com (17/11/04); http://sharkyextreme. com/guides/WMPG/article. php/10706_2227191_2; *Byte* reklamları, Eylül 1975–Mart 1998; *PC Computing* reklamları, Mart 1977–Nisan 2000.

48 Seagate, "Products," http://www.seagate.com/cda/products/discsales/index; Byte reklamları, 1977–1998; *PC Computing* reklamları, Mart 1999; Time-Life Kitaplarının editörleri, *Understanding Computers: Memory and Storage,* gözden geçirilmiş baskı (New York: Warner Books, 1990); "Historical Notes about the Cost of Hard Drive Storage Space," http://www.alts.net/ns1625/ winchest.html; "IBM 305 RAMAC Computer with Disk Drive," http://www. cedmagic.com/history/ibm-305-ramac.html; John C. McCallum, "Disk Drive Prices (1955–2004)," http://www.jcmit.com/diskprice.htm.

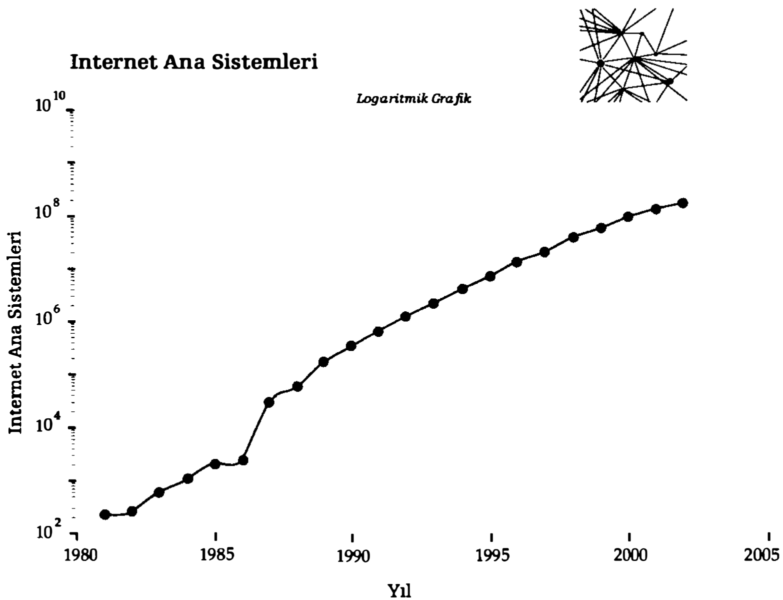
İletişim teknolojisindeki üstel büyüme (bilgi iletim ölçüleri; *bkz.* aşağıdaki şekil), yıllardır bilgi işlemde, işlem ve bellek ölçülerinde görülenden daha çok patlayıcı olmuş, sonuçlarıyla da daha aşağıda kalmamıştır. Yine bu gelişme, yalnızca tümleşik bir devre üzerindeki transistörleri küçültmekten çok daha fazlasını, fiber optik, optik anahtarlama, elektromanyetik teknolojiler ve diğer etmenlerdeki gelişmeleri içermektedir.[49]

Şu anda, gücü her on ya da on bir ayda bir ikiye katlanan (*bkz.* aşağıdaki şekil) kablosuz iletişim sayesinde, kentlerimizdeki ve günlük yaşantımızdaki kablo kargaşasını ortadan kaldırıyoruz.



49 James DeRose, *The Wireless Data Handbook* (St. Johnsbury, Vt.: Quantrum, 1996); First Mile Wireless, http://www.firstmilewireless.com/; J. B.Miles, "Wireless LANs," *Government Computer News* 18.28 (30 Nisan 1999), http://www.gcn.com/vol18_no28/guide/514-1.html; *Wireless Week* (14 Nisan 1997), http://www.wirelessweek.com/toc/4%2F14%2F1997; Teknoloji Değerlendirme Bürosu, "Wireless Technologies and the National Information Infrastructure," Eylül 1995, http://infoventures.com/emf/federal/ota/ota95-tc.html; Signal Lake, "Broadband Wireless Network Economics Update," 14 Ocak 2003, http://www.signallake.com/publications/broadbandupdate.pdf; BridgeWave Communications haberi, http://www.bridgewave.com/050604.htm.

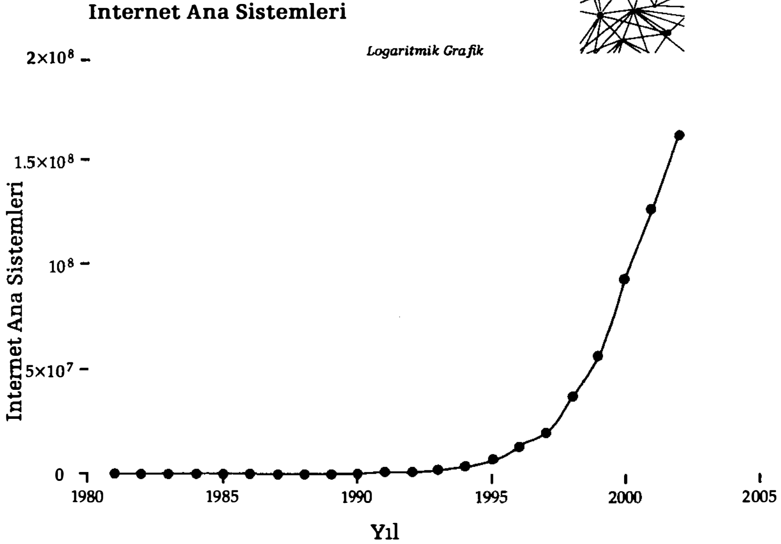
Yukarıdaki şekillerde, internet bilgisayarı (ağ sunucu bilgisayarlar) sayısı ölçüt alınarak, internetin genel büyümesi gösterilmektedir. Bu iki grafik, aynı veriyi göstermektedir, ancak biri logaritmik eksende, diğeri ise doğrusal eksendedir. Daha önce irdelendiği gibi, teknoloji üstel olarak ilerlerken, biz bu ilerlemeyi doğrusal alanda yaşarız. Çoğu gözlemcinin bakış acısından, 1990'ların ortalarında Dünya Çapında Ağ ile elektronik posta bir anda ortaya çıkıverinceye kadar bu alanda sanki hiçbir şey olmamıştır. Ancak internetin dünya çapında bir olgu haline gelişi, daha 1980'lerin başlarında internetin önceli ARPANET'ten elde edilen verilerin incelenmesiyle kolaylıkla öngörülebilmişti.[50]



Aşağıdaki grafik aynı veriyi doğrusal ölçekte göstermektedir.[51]

50 İnternet Yazılım Konsorsiyumu (http://www.isc.org), ISC'nin Etki Alanı Araştırması: Ana İnternet Sunucularının Sayısı, http://www.isc.org/ds/host-count-history.html.

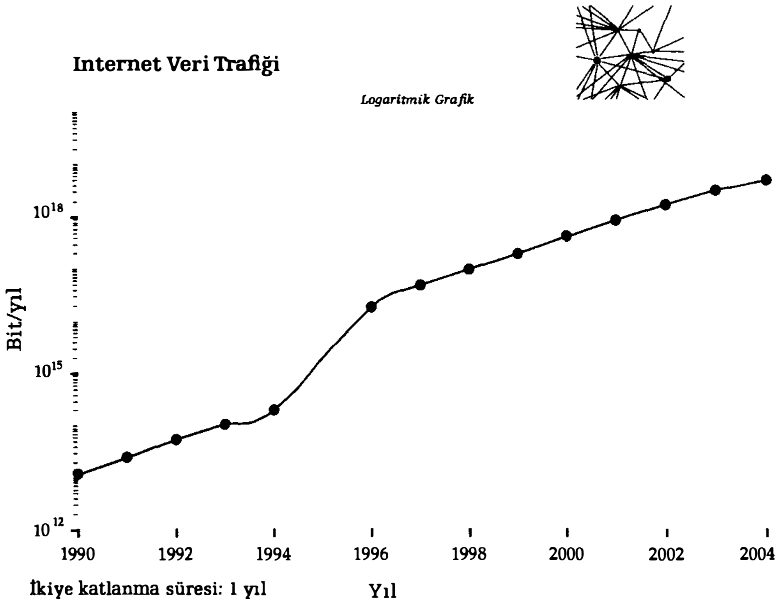
51 *Age.*



Internetin patlaması, logaritmik grafikte rahatlıkla öngörülebilmektedir, oysa doğrusal grafikte sürpriz gibi görünür.

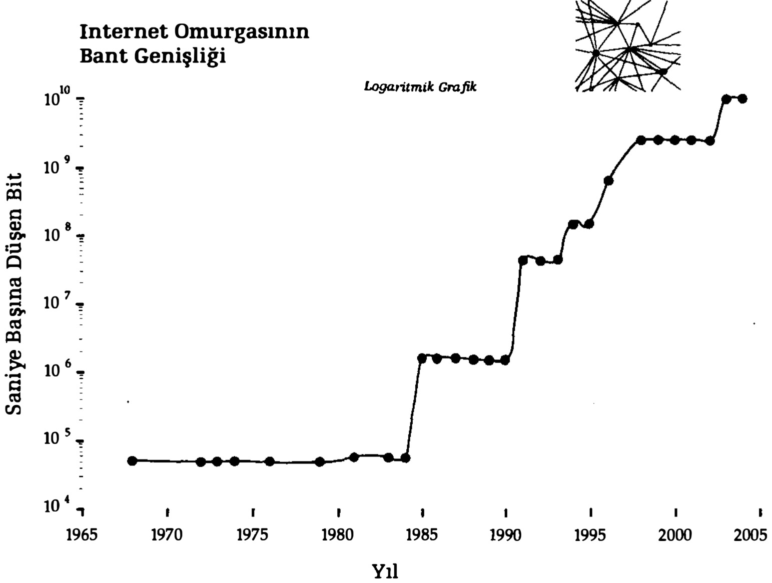
Sunucuların yanı sıra internet üzerinde gerçekleşen veri trafiği de her yıl iki ikiye katlanmıştır.[52]

52 Her yılın Aralık ayında ABD'de internet omurgası üzerindeki ortalama trafik kullanılarak o yılın trafiği hesaplanır. A. M. Odlyzko, "Internet Traffic Growth: Sources and Implications," *Optical Transmission Systems and Equipment for WDM Networking II*, yay. haz. B. B. Dingel, W. Weiershausen, A. K. Dutta ve K.–I. Sato, Proc. SPIE (Uluslararası Optik Mühendisliği Derneği) 5247 (2003): 1–15, http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/oft.internet.growth. pdf; 2003–2004 değerlerine ait veriler: A. M. Odlyzko ile elektronik posta yazışması.



Bu üstel büyümeye uyum sağlamak için, (internet için kullanılan en hızlı omurga iletişim kanallarından oluşan) internet omurgasının veri iletim hızı da üstel olarak büyümüştür. Aşağıdaki "İnternet Omurgası Bant Genişliği" başlıklı şekilde, S eğrilerinin ilerlemesinin net olarak görülebildiğine dikkat edin: Yeni bir paradigmayla oluşan ivme, ardından, paradigmanın hızının kesilmesiyle gelen düzlük, onun ardından da paradigma değişimiyle yenilenen ivme.[53]

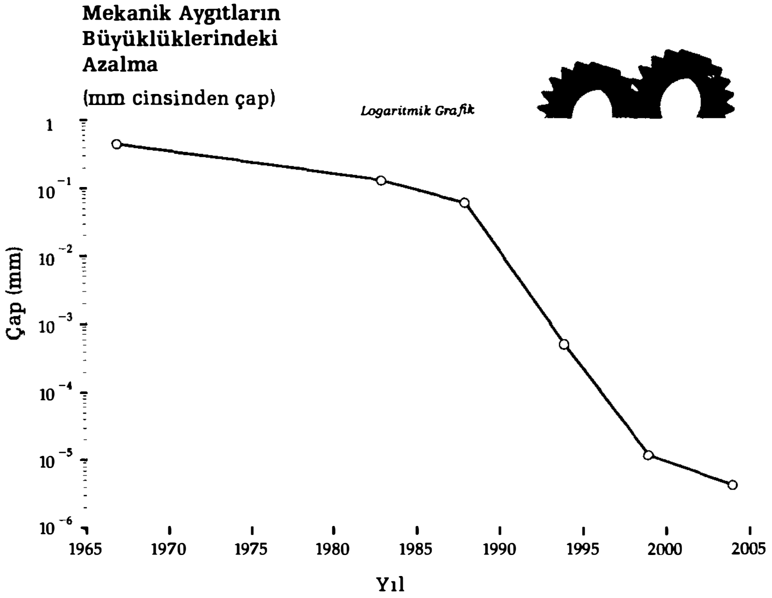
53 Dave Kristula, "The History of the Internet," (Mart 1997, güncelleme Ağustos 2001), http://www.davesite.com/webstation/net-history.shtml; Robert Zakon, "Hobbes' Internet Timeline v8.0," http://www.zakon.org/robert/internet/timeline; *Converge Network Digest*, 5 Aralık 2002, http://www.convergedigest.com/Daily/daily.asp?vn=v9n229&fecha=December%20 05,%202002; V. Cerf, "Cerf's Up," 2004, http://global.mci.com/de/resources/cerfs_up/.



Yirmi birinci yüzyılı temelden etkileyecek bir diğer eğilim, minyatürleştirmeye doğru gelişen akımdır. Hem elektronik hem de mekanik, geniş bir alandaki teknolojilerin kullandığı kilit özellik boyutları küçülmekte, bu da üstel hızda olmaktadır. Günümüzde teknolojiyi, on yılda bir, her doğrusal boyut için yaklaşık dört kat küçültüyoruz. Bu minyatürleştirme, Moore Yasasının ardındaki itici güç olmakla birlikte, örneğin manyetik saklama gibi, tüm elektronik sistemlerin boyutlarına da yansımaktadır. Mekanik aygıtların boyutlarını temsil eden şekilde, azalmayı bu aygıtların boyutlarında da görüyoruz.[54]

---

54 H. C. Nathanson vd, "The Resonant Gate Transistor," *IEEE Transactions on Electron Devices* 14.3 (Mart 1967): 117–33; Larry J. Hornbeck, "128 x 128 Deformable Mirror Device," *IEEE Transactions on Electron Devices* 30.5 (Nisan 1983): 539–543; J. Storrs Hall, "Nanocomputers and Reversible Logic," *Nanotechnology* 5 (Temmuz 1994): 157–167; V. V. Aristov vd, "A New Approach to Fabrication of Nanostructures," *Nanotechnology* 6 (Nisan 1995): 35–39; C. Montemagno vd, "Constructing Biological Motor Powered Nanomechanical Devices," *Nanotechnology* 10 (1999): 225–231, http://www.foresight.org/Conferences/MNT6/Papers/Montemagno/; Celeste Biever, "Tiny 'Elevator' Most Complex Nanomachine Yet," *NewScientist.com News Service*, 18 Mart 2004, http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn4794.

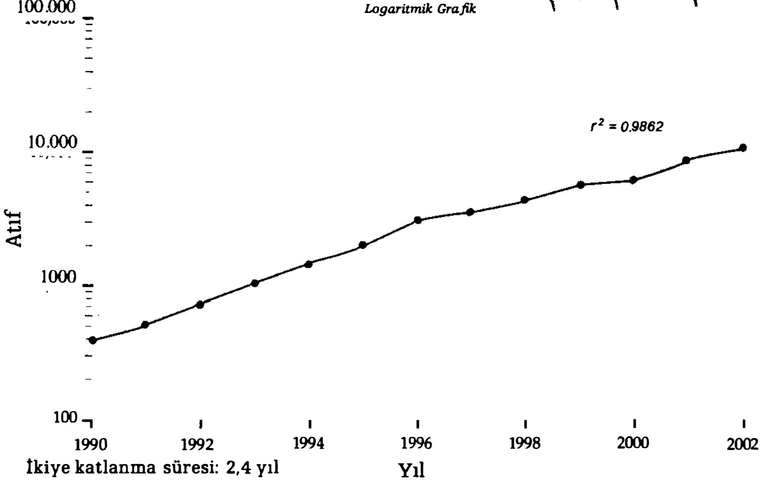


Çok geniş bir alanda teknolojilerin belirgin özellik boyutları ödün vermeden multinanometre aralığına (yüz bin nanometreden küçük; metrenin milyarda biri) doğru ilerlerken, nano teknolojiye karşı hızla büyüyen ilgi de buna eşlik etmektedir. Aşağıdaki şekilde görüleceği gibi, nano teknoloji bilimine yapılan atıflar son on yılda önemli oranda artmıştır.[55]

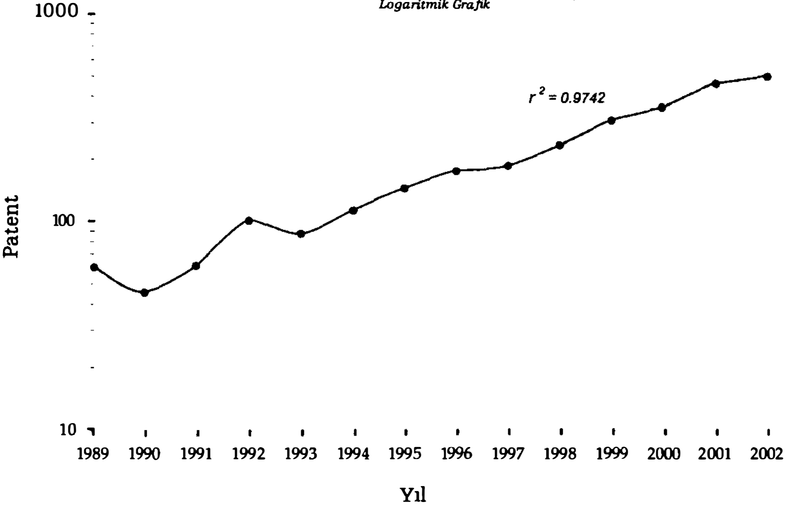
Genetik (ya da biyoteknoloji) devrimi, üstel olarak artan kapasitesi ve fiyat performansıyla biyoloji alanına bilgi devrimini getirmektedir (bunu beşinci bölümde ele alacağız). Benzer biçimde, nano teknoloji devrimi de bilginin malzeme ve mekanik sistemler üzerindeki egemenliğini hızla güçlendirecektir. Robotik (ya da "güçlü yapay zekâ") devrimi, insan beyni üzerinden ters mühendislik uygulamalarını içerir; bu da, insan zekâsının bilgi açısından anlaşılması, yanı sıra da elde edilen kavramların giderek güçlenen bilgi işlem platformlarıyla birleştirilmesi demektir. Sonuçta, bu yüzyılın ilk yarısına egemen olacak olan bu örtüşen üç –genetik, nano teknoloji, robotik– dönüşüm, bilgi devriminin farklı yüzlerini temsil etmektedir.

---

55 ETC Group, "From Genomes to Atoms: The Big Down," s. 39, http://www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf.



Aynı olguyu nano teknolojiyle ilgili patentlerde de görüyoruz (*bkz.* aşağıdaki şekil).[56]



56 *Age.*, s. 41.

Bilgi, Düzen ve Evrim: Wolfram ve Fredkin'in Hücresel Otomatlarından Anlaşılanlar

Bu bölümde betimlediğim gibi, bilgi ve bilgi teknolojileri her açıdan üstel hızla büyümektedir. Bilginin insan deneyiminin geleceğine giderek daha fazla işleyen önemi, insanlık tarihinde bir Tekilliğe ulaşılacağı yönündeki beklentilerimizin ayrılmaz bir parçasıdır. Bilgiyi varoluşun her düzeyinde görebiliriz. İnsanın sahip olduğu bilginin ve sanatsal anlatımın her türü – bilim ve mühendislikle ilgili düşünce ve tasarımlar, edebiyat, müzik, resimler, filmler– sayısal bilgi olarak ifade edilebilir.

Beyinlerimiz de nöronların bireysel olarak ateşlenmesiyle sayısal olarak çalışır. Nöronlarımız arasındaki bağlantıların kablolaması sayısal olarak betimlenebilmekte, beynimizin tasarımı ise şaşırtıcı ölçüde küçük, sayısal genetik kodla belirlenmektedir.[57]

Gerçekten de tüm biyoloji, 2 bitlik DNA baz çiftlerinden oluşan doğrusal diziler yoluyla çalışır. Bu 2 bitlik DNA baz çiftleri de proteinlerde yalnızca yirmi amino asidin dizilimini düzenler. Moleküller, ayrık atom düzenleri oluştururlar. Moleküler bağlantı oluşturan dört pozisyonuyla karbon atomu, üç boyutlu çeşitlemeler oluşturmada özellikle yeteneklidir; bu yeteneği de hem biyolojide hem teknolojideki merkezi rolünü açıklar. Elektronlar atomların içinde kesikli enerji düzeylerinde bulunurlar. Protonlar gibi diğer atomaltı parçacıklar değerlik kuarklarının kesikli sayılarını oluştururlar.

57 Genomda yer alan bilginin içeriğinin tam olarak belirlenmesi mümkün olmasa da bu içeriğin yinelenen baz çiftleri nedeniyle sıkıştırılmamış veri toplamından çok daha az olduğu açıktır. Burada genomun sıkıştırılmış bilgi içeriğini hesaplamanın iki yaklaşımı verilmektedir. Her iki yaklaşım da otuza yüz milyon bitlik bir dağılımın oldukça tutucu bir yükseklikte olduğunu göstermektedir.
1. İnsanın genetik kodunda sıkıştırılmamış veri olarak üç milyar DNA basamağı bulunurken (her DNA baz çifti için dört olasılık olduğu için) bu basamakların her biri iki bit kodlamaktadır. Böylece insan genomu yaklaşık 800 milyon sıkıştırılmamış bittir. Bu kodlanmamış DNA'ya başlarda "hurda DNA" adı verilmiş olmakla birlikte bunların gen ekspresyonunda önemli rol oynadıkları artık bilinmektedir. Bu DNA yine de yetersiz kodlanmıştır. Birincisi, sıkıştırma algoritmalarının yarar sağlayabilecekleri çok fazla gereksizlik vardır (örneğin, "ALU" adı verilen dizi yüz binlerce kez yinelenmektedir).

Yakın zamanda genetik veri bankalarında görülen patlamayla genetik veri sıkıştırmasına büyük ilgi doğmuştur. Genetik veriye standart veri sıkıştırma algoritmalarının uygulanması için yakın zamanda yürütülen çalışmalar, veriyi (mükemmel sıkıştırma için) yüzde 90 oranında azaltmanın mümkün olduğunu göstermektedir: Hisahiko Sato vd, "DNA Data Compression in the Post Genome Era," *Genome Informatics* 12 (2001): 512-14, http://www.jsbi.org/journal/GIW01/GIW01P130.pdf.
Dolayısıyla genomu bilgi kaybı olmadan yaklaşık 80 milyon bite sıkıştırabiliriz (yani, tam olarak 800 milyon bit sıkıştırılmamış genomu mükemmel biçimde yeniden kurabiliriz).
Şimdi de genomun yüzde 98'inden fazlasının protein kodlamadığını düşünün. Standart (gereksizlikleri atıp, sık kullanılan diziler için bir sözlük rehberi kullanan) veri sıkıştırmasından sonra bile kodlamayan alanlardaki algoritmik içerik bir hayli düşüktür. Bunun anlamı, daha az bitle aynı işlevi üstlenebilecek bir algoritmayı kodlamamızın olası olduğudur. Ancak, genomda ters mühendislik işleminin daha çok başında olduğumuz için işlevsel olarak denk bir algoritmaya dayanan azalmaya ait güvenilir bir hesap yapamayız. Bu nedenle, genomda 30 ile 100 milyon bit aralığında sıkıştırılmış veri kullanıyorum. Bu aralığın üst kısmı yalnızca veri sıkıştırmasını varsayarken, algoritmik basitleştirmeyi varsaymaz.
Bu bilginin (büyük bir bölümü de olsa) yalnızca bir bölümü beynin tasarımını nitelemektedir.
2. Bir diğer düşünce biçimi ise şöyledir: İnsan genomunun içerdiği yaklaşık 3 milyar baza karşın, yukarıda belirtildiği gibi, yalnızca çok küçük bir yüzdesi protein kodlamaktadır. Şu andaki hesaplara göre protein kodlayan gen sayısı 26.000'dir. Bu genlerin ortalama 3000 bazının yararlı bilgi olduğunu varsayarsak, bu yaklaşık 78 milyon baza eşittir. Bir DNA bazı yalnızca iki bit gerektirir ki bu da 20 milyon bite (78 milyon baz bölü dört) karşılık gelir. Bir genin protein kodlayan dizisindeki üç DNA bazındaki her "sözcük" (kodon) bir amino aside dönüşür. Dolayısıyla, her biri üç DNA bazından oluşan 4^3 (64) olası kodon kodu vardır. Ancak, bu 64'ünün içinden kullanılan yalnızca 20 amino asit ve bir stop kodondur (boş amino asitler). Geriye kalan 43 kod, 21 yararlı kodun eşanlamlıları olarak kullanılır. 64 olası kombinasyonu kodlamak için 6 bit gerekirken, 21 olasılığı kodlamak için yalnızca yaklaşık 4,4 ($\log_2$ 21) gerekir; 6 bitin 1,6'sından tasarruf ederek (yaklaşık yüzde 27) 15 milyon bite kadar düşer. Ayrıca, çok sayıda gereksiz içeriğe sahip hurda DNA denen bölümle kıyaslandığında DNA'nın protein kodlayan kısmında çok daha az sıkıştırma mümkün olmasına karşın, yinelenen dizilere dayanan kimi standart sıkıştırmanın burada da uygulanması mümkündür. Böylece rakam 12 milyon bitin altına düşebilmektedir. Ancak bir de DNA'nın gen ekspresyonunu kontrol eden kodlamayan bölümü için bilgi eklememiz gerekir. DNA'nın bu bölümü genomun büyük kısmını oluşturmakla birlikte bilgi içeriği düşük ve bol miktarda gereksiz bilgiyle dolu gibidir. 12 milyon bitlik protein kodlayan DNA ile eşlendiğini öngörürsek, yine yaklaşık 24 milyon bit sonucuna varırız. Bu bakış açısıyla, 30 ile 100 milyon bit arası bir tahmin, tutucu bir tahmindir.

Kuantum mekaniğinin formülleri hem sürekli alanlar hem de kesikli düzeyler üzerinden ifade edilse de, sürekli düzeylerin, ikili veri kullanılarak istenen herhangi bir kesinlik derecesinde ifade edilebileceğini biliyoruz.[58] Nitekim kuantum mekaniği, "kuantum" sözcüğünün anıştırdığı gibi kesikli değerlere dayanır.

Fizikçi ve matematikçi Stephen Wolfram, artan karmaşıklığın özünde belirlenimci bir algoritmik sistem olan (önceden belirlenmiş sonuçları ile değişmez kurallara dayanan) bir evrenden nasıl doğabileceğini gösteren kapsamlı kanıtlar sunmaktadır. *A New Kind of Science* [*Yeni Tür Bir Bilim*] adlı kitabında Wolfram, "hücresel otomat" adı verilen matematik yapının altında yatan süreçlerin, her düzeyiyle doğal dünyamızı betimleme potansiyeline nasıl sahip olduğunu kapsamlı bir biçimde inceler.[59] (Hücresel otomat, örneğin bir örgü üzerindeki her hücrenin rengini, komşu ya da yakınındaki hücrelere dayanarak, bir dönüşüm kuralına göre değiştiren basit bir bilgi işlem mekanizmasıdır.)

Wolfram'a göre tüm bilgi süreçleri hücresel otomatlar üzerinden yürütülen işlemlere göre ifade edilebilir; yani, düşünceleri, bilgi ve bilginin artan yaygınlığına dair birkaç kilit konuyla ilgilidir. Wolfram, evrenin dev bir hücresel–otomat bilgisayar olduğunu varsayar. Varsayımında, (devinim ve zaman gibi) analog oldukları bilinen olgular ve fizik formülleri için sayısal bir temel vardır. Böylece fizik anlayışımızı bir hücresel otomatın basit dönüşümleri olarak modellememiz mümkün olur.

58 Kayan noktalı sayılar kullanılarak sürekli değerlerin istenen herhangi bir kesinlik düzeyinde ifade edilmesi mümkündür. Bir kayan noktalı sayı iki bit dizisinden oluşur. Bir "üs" dizisi 2'nin kaçıncı kuvvette olduğunu belirtir. "Taban" dizisi ise 1'in kesrini belirtir. Tabandaki bit sayısını artırarak istenen herhangi bir düzeyde kesinlik elde etmek mümkündür.

59 Stephen Wolfram, *A New Kind of Science* (Champaign, IL.: Wolfram Media, 2002).

Bu olasılığı başkaları da ileri sürmüştür. Richard Feynman, bilginin madde ve enerjiyle ilişkisini ele alırken bunun üzerinde düşünmüştür. Norbert Weiner, 1948 yılında yayımladığı *Cybernetics* [*Sibernetik*] adlı kitabında, enerjiden bilgiye kayan temel bir değişimin haberini vermiş; evrenin temel yapı taşının enerji değil, bilginin dönüşümü olduğunu öne sürmüştür.[60] Evrenin bir sayısal bilgisayar üzerinde işlendiğini varsayan belki de ilk kişi, 1967'de Konrad Zuse'dir.[61] Zuse daha çok, 1935'ten 1941'e kadar geliştirdiği, ilk çalışan programlanabilir bilgisayarın mucidi olarak bilinir.

Bilgiye dayalı bir fizik kuramının en ateşli savunucularından biri, 1980'lerin başlarında, evrenin son kertede yazılımdan oluştuğu düşüncesi üzerine kurulmuş bir "yeni fizik kuramı" öneren Edward Fredkin'di. Fredkin'e göre, gerçekliğin taneciklerden ve kuvvetlerden değil, bilgi işlem kurallarına göre değiştirilen veri bitlerinden oluştuğunu düşünmemiz gerekir.

1980'lerde Robert Wright, Fredkin'in şu sözlerini aktarıyordu:

> Üç büyük felsefe sorusu vardır. Yaşam nedir? Bilinç, düşünme, bellek ve diğerleri nedir? Evren nasıl işler?... "Bilginin bakış açısı" her üçünü de içerir... Söylemek istediğim, karmaşıklığın en temel düzeyinde, bilgi süreci, bizim fizik olarak anladığımızı çalıştırır. Karmaşıklığın daha üst düzeylerinde, yaşam, DNA –bildiğiniz biyokimyasal işlevler– sayısal bir bilgi süreci tarafından denetlenir. Ardından, bir diğer düzeyde, düşünce süreçlerimiz temelde bilginin işlenmesidir... Düşüncelerimi destekleyen kanıtları on binlerce farklı yerde buluyorum... Bu da benim için tümden karşı konulmaz bir şey. Sanki bulmak istediğim bir hayvan var.

60 Sayısal fizik kuramı üzerine ilk çalışmaları yapanlardan biri de Frederick W. Kantor'dur: *Information Mechanics* (New York: John Wiley and Sons, 1977). Kantor'un makalelerinden bazılarına şu bağlantılardan erişilebilir: http://w3.execnet.com/kantor/pm00.htm (1997); http://w3.execnet.com/kantor/1b2p.htm (1989); ve http://w3.execnet.com/kantor/ipoim. htm (1982). *Ayrıca bkz.* http://www.kx.com/listbox/k/msg05621.html.

61 Konrad Zuse, "Rechnender Raum," *Elektronische Datenverarbeitung*, 1967, cilt 8, s. 336–344. Konrad Zuse'nin hücresel otomata dayanan evren hakkındaki kitabı iki yıl sonra yayımlanmıştır: *Rechnender Raum, Schriften zur*

Ayak izlerini buldum. Ardında bıraktığı gübreyi buldum. Yarı çiğnenmiş yiyeceğini buldum. Kürkünden parçalar, başka şeyler buldum. Her açıdan bütün bunlar tek bir hayvana uyuyor; ama bu, bugüne kadar görülmüş bir hayvana benzemiyor. İnsanlar, "Bu hayvan nerede?" diye soruyorlar. Ben de, "Eh, buradaydı, şu büyüklükteydi vs" diyebiliyorum. Hakkında da binlerce şey biliyorum. Elimle dokunamıyorum ama şu anda orada... Gördüğüm şey o kadar ilginç ki, düşümün ürünü bir yaratık olamaz.[62]

Fredkin'in sayısal fizik kuramını yorumlarken Wright şöyle yazar:

Fredkin... birçok hücresel otomat içeren bazı bilgisayar programlarının ilginç bir özelliğinden söz eder: Neyle sonuçlanacaklarını anlamanın kısa yolu yoktur. Bu, gerçekte, diferansiyel denklemleri içeren geleneksel matematik ve ilişkili "analitik" yaklaşım ile algoritmalarla bağlantılı "bilgi işlem" yaklaşımı arasındaki temel farktır. Analitik yaklaşıma duyarlı bir sistemin geleceğini, şimdi ile sonra arasında bulunacağı durumları çözmeden öngörebilirsiniz, ama birçok hücresel otomatın olduğu durumda sonun neye benzeyeceğini keşfetmek için tüm ara durumlardan geçmeniz gerekir; ortaya çıkışını izlemenin dışında geleceği bilmenin yolu yoktur...

Fredkin bunu şöyle açıklar: "Bazı soruların yanıtlarını öğrenmenin, olayların oluşmasını beklemekten daha hızlı bir yolu yoktur." ... Fredkin, evrenin tam anlamıyla bir bilgisayar olduğuna, birinin ya da bir şeyin de bir problemi çözmek için bu bilgisayarı kullanmakta olduğuna inanır. İyi haber/kötü haber şakası gibidir bu: İyi haber, yaşamlarımızın amacının olmasıdır, kötü haber ise bu amacın uzaktaki bir bilgisayar korsanının, pi sayısını zilyonuncu kesrine kadar hesaplamasına yardım etmek olmasıdır.[63]

Datenverarbeitung (Braunschweig, Almanya: Friedrich Vieweg & Sohn, 1969). İngilizce çevirisi: *Calculating Space,* MIT Technical Translation AZT–70–164–GEMIT, Şubat 1970. MIT Project MAC, Cambridge, MA 02139. PDF.

62 Edward Fredkin'den alıntı: Rober Wright, "Did the Universe Just Happen?" içinde, *Atlantic Monthly,* Nisan 1988, 29–44, http://digitalphysics.org/Publications/Wri88a/html.

63 *Age.*

Fredkin, buradan giderek, bilginin saklanması, bilgiye erişilmesinde enerjinin gerekliliğine karşın, herhangi bir bilgi işlem uygulaması için gereken enerjiyi istediğimiz gibi azaltabileceğimizi, bu işlemin de herhangi bir alt sınırı olmadığını göstermiştir.[64] Bu, madde ve enerjiden çok bilginin temel gerçeklik olarak görülebileceğine işaret eder.[65] Zekânın evrendeki en üst gücüyle ilgili olduğu için Fredkin'in bilgi işlem ve iletişim için gereken enerjinin alt sınırına ilişkin bakışını üçüncü bölümde ele alacağım.

Wolfram kuramını temelde tek, birleşik bir anlayış üzerine kurmaktadır. Wolfram'ı bu kadar heyecanlandıran keşif, hücresel otomatların 110. kuralı adını verdiği basit kural ile bunun davranışıdır. (Otomatların başka ilginç kuralları da vardır ancak 110. kural konuyu tam olarak açıklar.) Wolfram'ın çözümlemelerinin birçoğu olası en basit hücresel otomatı, özellikle de yalnızca tek boyutlu hücre çeşitlerini, iki olası rengi (siyah ve beyaz) ilgilendirenleri ve yalnızca birbirine komşu iki hücreye dayanan kuralları ele alır. Her dönüşüm için bir hücrenin rengi yalnızca kendi önceki rengine ve solundaki hücre ile sağındaki hücrenin renklerine bağlıdır. Böylelikle sekiz olası girdi durumu (yani, üç ayrı iki renk birleşimi) bulunur. Dolayısıyla, böyle bir tek boyutlu, iki renkli, komşu hücre otomatı için 2^8 (256) olası kural vardır. Sol–sağ simetrisi nedeniyle, olası 256 kuralın yarısı diğer yarıyla eşlenir. Yine bunların da yarısı siyah–beyaz eşitliği nedeniyle diğer yarıyla eşlenir, böylece sonuçta 64 kural tipi kalır. Wolfram bu otomatların eylemlerini, her (*y* ekseni üzerindeki) doğrunun kuralı o doğru üzerindeki her hücreye uygulamanın ardışık biçimde oluşturduğu iki boyutlu örüntülerle betimler.

64 Fredkin'in elde ettiği sonuçların çoğu, kendi oluşturduğu ve belirgin olarak birtakım temel fizik ilkelerini yansıtan bilgi işlem modellerinin incelenmesine dayanmaktadır. *Bkz.* Edward Fredkin ve Tommaso Toffoli'nin klasik makalesi: "Conservative Logic," *International Journal of Theoretical Physics* 21.3–4 (1982): 219–53, http://www.digitalphilosophy.org/download_documents/ConservativeLogic.pdf. Bilgi işlem fiziğine dair Fredkin'e yaklaşan bir dizi analitik kaygı, Norman Margolus'da da görülmektedir: "Physics and Computation," doktora tezi, MIT/LCS/TR–415, MIT Bilgisayar Bilimi Laboratuvarı, 1988.

65 1990 tarihli *The Age of Intelligent Machines* adlı kitabımda, Norbert Wiener ve Ed Fredkin'in bilgiye bakışlarını fiziğin ve diğer gerçeklik düzeylerinin temel yapı taşı olarak irdelemiştim.

Fredkin, fiziğin tümüne bilgi işlem dönüşümleri açısından bakmanın ortaya koyduğu karmaşıklığın zorlayıcılığına karşın çalışmalarını sürdürmüştür. Wolfram ise son on yılda yürüttüğü çalışmaların önemli bir bölümünü bu kavrama adamıştır; ancak görünen o ki bu çalışmalarını, fizik dünyasında aynı düşüncenin üzerine giden diğerleriyle çok az iletişim kurarak yürütmüştür. Wolfram hedefinin "fiziğin belirli bir sonul modelini vermek olmadığını" ilan etmiş olmakla birlikte (temelde büyük bir girişime denk gelen) "Fizik Notları"nda "[onun] böyle bir modelin sahip olması gerektiğine inandığı özellikleri" betimlemiştir (*A New Kind of Science*, s. 1043–1065, http://www.wolframscience.com/nksonline/page-1043c-text).

The Age of Intelligent Machines adlı kitabımda, "gerçekliğin sonul doğasının analog mu yoksa sayısal mı olduğunu" tartışıp, "doğal ve yapay süreçlere daha fazla girip bu süreçleri daha fazla araştırdıkça, sürecin doğasının çoğu zaman bilginin analog ile sayısal gösterimi arasında gidip geldiğine" işaret ettim. Bunu örneklemek için de sesi irdeledim. Müzik beynimizde, kulak salyangozunda sayısal olarak ateşlenen, farklı frekans bantlarını ifade eden nöronlarla temsil edilmektedir. Havada ve hoparlörlere giden kablolarda ise analog bir olgudur. Ses, kompakt diskte sayısal olarak gösterilir, bu da sayısal devrelerle yorumlanır. Ancak sayısal devreler, analog yükselticiler olan eşikli transistörlerden oluşmaktadır. Yükseltici olarak transistörler, sayılabilen bu nedenle de sayısal olan elektronları tek tek çalıştırırlar, ancak elektronlar daha derin düzeylerde analog kuantum alan denklemlerine tabi olurlar. Fredkin, bugün de Wolfram, daha da derinlerde bu sürekli denklemlerin sayısal (bilgi işlemsel) temelinin kuramını oluşturmaktadırlar.

Eğer birisi böyle bir sayısal fizik kuramını oluşturmayı başarabilirse, bunun bizi hücresel otomatların bilgi işlemini ve bağlantılarını gerçekte daha derindeki ne tür mekanizmaların hayata geçirdiğini incelemek için kışkırtacağı da göz önüne alınmalıdır. Belki de evreni işleten hücresel otomatın temelinde yatan, sayısal işlemleri yerine getirmelerini sağlayan eşiklere tabi olan transistörler gibi daha temel analog olgulardır. Böylece, fiziğin sayısal bir temelini oluşturmak, gerçekliğin sonuçta sayısal mı yoksa analog mu olduğu üzerine dönen felsefi tartışmaları çözmeyecektir. Yine de fiziğin uygulanabilir bir bilgi işlem modelini kurabilmek çok önemli bir başarı olacaktır.

Peki, bu ne kadar olasıdır? Sürekli denklemlerin, değerlerdeki ayrık değişimler üzerindeki ayrık dönüşümler biçiminde istenen kesinlik düzeyinde ifade edilmesi her zaman mümkün olduğundan fiziğin sayısal bir modelinin mümkün olduğunun varlığının kanıtlarını kolaylıkla oluşturabiliriz. Sonuçta, kalkülüsün temel savının dayanağı budur. Ancak, sürekli formülleri bu şekilde ifade etmek içsel bir karmaşıklıktır ve Einstein'ın şeyleri ifade etmek için kullandığı "mümkün olduğunca basit, ama daha basit değil" özdeyişini ihlal eder. Yani asıl soru, farkında olduğumuz temel ilişkiyi hücresel otomat algoritmalar kullanarak daha zarif biçimde ifade edip edemeyeceğimizdir. Yeni bir fizik kuramının bir sınavı, doğrulanabilir tahminler yapacak yeteneği olup olmadığıdır. Bu, en azından bir önemli açıdan hücresel otomata dayalı kuram için zorlu olabilir çünkü öngörülemezlik hücresel otomatın temel özelliklerinden biridir.

Wolfram işe evreni büyük bir düğüm ağı olarak tanımlamakla başlar. Düğümler "uzayda" yer almazlar, algıladığımız biçimiyle uzay, olguların dü-

ğümler ağından akıcı biçimde geçmeleriyle oluşan bir yanılsamadır. İstenen parçacık sayısıyla basitçe üç boyutlu bir ağ kurularak, "naif" (Newtoncı) fiziği temsil etmek için bu türden bir ağ kurulabileceği kolaylıkla düşünülebilir. "Parçacıklar" ve "dalgalar" gibi uzayda devinir gibi görünen olgular, her bilgi işlem döngüsü için ağda ilerleyen örüntüler olan "hücresel planörlerle" gösterilebilir. *Life* adlı (hücresel otomatlara dayanan) oyunun sevenleri yaygın bir olgu olan planör olgusunu ve bir hücresel otomatlar ağının içinden akarak geçebilen örüntü çeşitliliğini fark edeceklerdir. Öyleyse ışığın hızı, göksel bilgisayarın saat hızının sonucudur çünkü planörler her bilgi işlem döngüsünde yalnızca bir hücre boyu ilerleyebilirler.

Einstein'ın, kütleçekimi uzaydaki sapmalar olarak, üç boyutlu dünyamız görülmez bir dördüncü boyuttaki ağın içinde eğriliyormuş gibi betimleyen Genel Göreliliği bu düzenin net bir gösterimidir. Dört boyutlu bir ağı tasarımlayıp uzaydaki açıkça belli olan bükülmeleri de normal bükülmeleri üç boyutlu uzayda gösterdiğimiz gibi aynı biçimde gösterebiliriz. Ya da bu ağ belli bölgelerde yoğunlaşarak böyle bir bükülmenin eşdeğerini gösterebilir.

Bir hücresel otomatın oluşumu, ikinci termodinamik yasasının anıştırdığı entropideki (düzensizlikteki) belirgin artışı açıklamak için yararlıdır. Evrenin temelinde yatan hücresel otomat kuralının 4. sınıf bir kural (*bkz.* ana metin) olduğunu varsaymamız gerekir; aksi durumda evren gerçekten de sıkıcı bir yer olurdu. Wolfram'ın 4. sınıf bir hücresel otomatın (belirli sürecine karşın) hızlı biçimde açıkça belli olan rastgelelik ürettiğine ilişkin temel gözlemi, Brown deviniminde gördüğümüz ve ikinci yasanın anıştırdığı rastgeleliğe doğru eğilimle tutarlıdır.

Özel Görelilik daha zordur. Newton modelinden hücresel ağa kolaylıkla eşleme yapılabilir. Ancak Newton modeli Özel Göreliliğe gelince durur. Newton dünyasında eğer bir tren saatte 130 km hızla gidiyorsa, siz de ona paralel bir yolda saatte 100 km hızla gidiyorsanız, tren sizden saatte 30 km hızla uzaklaşır gibi görünecektir. Ama Özel Görelilik dünyasında eğer Yeryüzünden ışık hızının üçte biri hızla uzaklaşırsanız ışık yine de sizden tam ışık hızında uzaklaşır gibi görünecektir. Açıkça çelişkili olan bu bakış açısına uygun olarak bu iki gözlemci için zamanın hem boyutu hem de öznel akışı göreli hızlarına göre farklılık gösterecektir. Bu nedenle uzay ile düğümler arasındaki değişmez eşleşmemiz çok daha karmaşık hale gelir. Temelde her iki gözlemcinin de kendi ağına gereksinimi vardır. Ancak, Özel Göreliliği ele alırken, Newtoncı uzaya olduğu gibi "Newtoncı" ağımıza da temelde aynı dönüşümü uygulayabiliriz. Ama Özel Göreliliği bu şekilde temsil edere daha fazla yalınlık kazandığımız kesin değildir. Gerçeğin hücre düğümüyle temsilinin en büyük yararı kuantum mekaniği olgusunun bazı yönlerini anlamakta ortaya çıkar. Bu, kuantum olgusunda gördüğümüz belirgin rastgeleliğin açıklamasını verebilir. Örneğin, parçacık-karşıt parçacık çiftlerinin ani ve rastgele oluşumlarını ele alın. Bu rastgelelik, 4. sınıf hücresel otomatta gördüğümüz rastgelelikle aynı türden olabilir. Önceden belirlenmiş olmasına karşın, 4. sınıf otomatın davranışı (hücresel otomatın çalıştırılması dışında) tahmin edilemez ve etkin biçimde rastgeledir.

Bu yeni bir görüş değildir. Kuantum mekaniğinin, bize rastgele davranış olarak görüneni kontrol eden ve başka türlü ulaşamayacağımız bazı değiş-

kenlerin olduğunu söyleyen "gizli değişkenler" ilkesinin anlatımına eşdeğerdir. Kuantum mekaniğinin gizli değişkenler kavramı, kuantum mekaniğinin denklemleriyle tutarsız değildir. Olanaklıdır ancak oldukça belli bir biçimde çözümlenmesi gereken çok sayıda varsayımı gerektirdiğinden kuantum fizikçileri arasında popüler değildir. Ancak bunu iyi bir karşı sav olarak görmüyorum. Evrenimizin varlığının kendisi oldukça olasılık dışıdır ve çok belli bir biçimde işleyen birçok varsayımı gerektirir. Yine de, işte buradayız.

Daha önemli bir soru, bir gizli değişken kuramının nasıl sınanabileceğidir. Hücresel otomat türünden bir sürece dayandığında, belirlenimci de olsalar gizli değişkenler nitelikleri gereği önceden kestirilemezdir. Gizli değişkenleri "ortaya çıkarmak" için başka yollar bulmamız gerekirdi.

Wolfram'ın evrenin ağı kavramı, kuantum dolaşıklığı olgusuna ve dalga fonksiyonunun çöküşüne potansiyel bir bakışı ortaya koyar. Bir parçacığın belirsiz olduğu bilinen özelliklerinin (örneğin, konumu) geriye dönük olarak belirlenmesini sağlayan dalga fonksiyonunun çökmesi, hücresel ağ perspektifinden bakıldığında, gözlemlenen olguyla gözlemci arasındaki etkileşim olarak görülebilir. Gözlemciler olarak biz ağın dışında değil, içindeyizdir. İki varlığın her ikisinin de değişmeden birbirleriyle etkileşime giremediklerini hücresel mekanikten biliyoruz. Bu da dalga fonksiyonu çökmesine bir temel oluşturur.

Wolfram, "eğer evren bir ağ ise o zaman, parçacıklar sıradan uzaya göre birbirlerinden çok uzaklaşsalar bile, bir anlamda, parçacıkları birleştirmeyi sürdüren iplikleri kolaylıkla içerebilir," diye yazmaktadır. Bu, son zamanlarda yapılan, iki "kuantum dolaşığı" parçacığının birbirlerinden uzak olmakla birlikte devinimlerini sürdürür gibi göründüğü eylemin konumsuzluğunu gösteren dramatik deneylere bir açıklama getirebilir. Son zamanlarda yürütülen deneyler doğrular gibi görünse de Einstein bunu "uzaktaki hayali devinim" olarak niteleyerek reddetmiştir.

Bazı olgular bu hücresel otomat ağı kavramına diğerlerinden daha net yerleşir. Öne sürülen düşüncelerden bazıları daha incelikli gibi görünür ama Wolfram'ın "Note for Physicists" adlı yazısının ortaya koyduğu gibi, fiziğin tümünü tutarlı bir hücresel otomata dayanan sisteme aktarmak insanın gözünü korkutur.

Tartışmalarını felsefe alanına kadar genişleten Wolfram, özgür irade olgusunu, belirlenmiş ancak önceden kestirilemeyen kararlar olarak "açıklar." Süreci fiilen işletmeden bir hücresel sürecin varacağı sonucu önceden görmenin yolu olmadığına ve hiçbir simülatörün evrenden daha hızlı ilerlemesi mümkün olmadığına göre, insanın vereceği kararları güvenilir biçimde öngörmenin yolu yoktur. Yani, kararlarımız ne kadar belirlenmiş de olsa bunların ne olacağını önceden saptamanın yolu yoktur. Ancak bu, bu kavramın tam anlamıyla tatmin edici bir incelemesi değildir. Tahmin edilebilirliğin eksikliğiyle ilgili bu gözlem, örneğin bir toz taneciğinin yere düşeceği durumlar gibi, çoğu fiziki süreç için yapılabilir. Böylece bu bakış açısı, insanın özgür iradesini bir toz taneciğinin rastgele düşüşüne eşitler. İnsan beyninde işleyen sürecin, sıvı türbülansı gibi süreçlerde yer alanlara "bilgi işlem olarak denk" olduğunu öne sürdüğünde Wolfram'ın bakışı gerçekten de böyle görünmektedir.

Kuralların çoğu bozuktur; yani, tek renkli hücreler ya da dama tahtası örüntüsü gibi, hiçbir yararı olmayan yinelenen örüntüleri oluştururlar. Wolfram bu kurallara 1. sınıf otomatlar adını verir. Bazı kurallar, değişmez kalan, aralıkları duruma göre değişen çizgiler üretir. Wolfram bunları 2. sınıf altında toplar. Tanınabilen özellikler (örneğin üçgenler) kendilerini temelde rastgele bir düzendeki örüntüyle gösterdikleri için 3. sınıfa ait kurallar biraz daha ilginçtir.

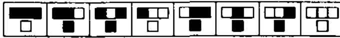
Oysa Wolfram'ın bu konuya adadığı on yılın sonunda gelen "Buldum!" anını yaşamasına yol açan, 4. sınıf otomatlardır. 110. kuralın en mükemmel örneğini oluşturduğu 4. sınıf otomatlar kendilerini yinelemeyen şaşırtıcı derecede karmaşık örüntüler oluştururlar. Bunlarda, çeşitli açılardaki çizgiler, üçgen kümeleri ve başka ilginç yapılandırmalar gibi insan yapımı unsurları görürüz. Ancak sonuçta ortaya çıkan örüntü ne düzenlidir ne de tümden rastgeledir; bir düzene sahip gibi görünür ama asla önceden kestirilebilir değildir.

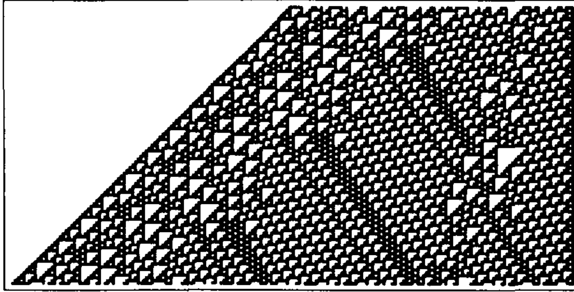
Doğada görülen kimi olgular (örneğin, bulutlar, kıyılar) hücresel otomat ve fraktaller gibi yinelenen basit süreçlerle nitelenirken, (insan beyni gibi) zeki örüntüler bir evrim sürecini (ya da alternatif olarak böyle bir sürecin sonuçları üzerinde ters mühendislik işlemini) gerektirmektedir. Zekâ, evrimin yarattığı olağanüstü bir ürün, ayrıca, kanımca, nihayetinde aklı olmayan doğal güçlerin güçlerinin ötesine geçebilen dünyanın en güçlü "gücüdür."

Özetle, Wolfram'ın nefes kesen tutkulu incelemesi zorlayıcı ama sonuç olarak abartılı ve eksik bir resim çizmektedir. Wolfram, gerçekliğin temel yapı taşlarını madde ve enerjinin değil, bilgi örüntülerinin oluşturduğunu savunan ve giderek büyüyen bir ses topluluğuna katılmaktadır. Wolfram bize bilgi örüntülerinin yaşadığımız dünyayı nasıl yarattığını öğretmiştir; algoritmaların dünyanın dört bir yanında var olabilecek rollerine daha sağlam bir bakışı kurabilmek için Wolfram ile meslektaşları arasında yürütülecek bir işbirliğini sabırsızlıkla bekliyorum.

Dördüncü sınıf hücresel otomatın tahmin edilebilirliğinin eksikliği en azından bazı biyolojik sistemlerin karmaşıklığının altında yatar ve teknolojimizle taklit etmeye çalıştığımız önemli biyolojik paradigmalardan birini temsil eder. Biyolojinin bütününü açıklamaz. Ancak bu yöntemlerin fiziğin bütününü açıklayabileceği en azından olasıdır. Eğer Wolfram ya da bu alandaki herhangi bir başkası fiziği hücresel otomat işlemleri ve bu işlemlerin örüntüleri açısından formüle etmeyi başarırsa, Worfram'ın kitabı unvanını hak etmiş olacaktır. Her durumda bu kitabın önemli bir ontoloji çalışması olduğuna inanıyorum.

110. Kural





110. kuralla oluşturulan görüntünün bir bölümü

Bu, neden önemlidir veya neden ilginçtir? Başlangıç noktamızın olabilecek en basit şey olduğunu anımsayın: Tek bir siyah hücre. Süreç, çok basit bir kuralın yinelenen uygulamasını içerir.[66] Yinelenen ve belirlenimci böyle bir süreçten, yinelenen ve kestirilebilir davranış beklenir. Burada iki şaşırtıcı sonuç vardır. Birincisi, sonuçların belirgin rastgelelik üretmeleridir. Ancak sonuçlar salt rastgelelikten daha ilginçtir; bu başlı başına sıkıcı olurdu. Üretilen tasarımların ayırt edilebilir, ilginç özellikleri vardır; böylelikle örüntü, düzen ve belirgin zekâ içerir. Wolfram bu görüntülerden bazı örnekler verir; verdiği örneklere bakmak da oldukça zevklidir.

Wolfram tekrar tekrar şu noktaya değinmektedir: "Ne zaman karmaşık gibi görünen bir olguyla karşılaşılsa, neredeyse doğal olarak bu olgunun yine karmaşık daha temel bir mekanizmanın sonucu olması gerektiği düşünülür. Ama basit programların büyük karmaşıklıklar oluşturabileceğini gösteren keşfim, bunun gerçekte doğru olmadığını açıkça ortaya koymaktadır."[67]

66 110. kurala göre bir hücre önceden siyah renklidir; her iki komşusu da ya tamamen siyah ya da tamamen beyaz ise beyaza döner, ya da önceden beyaz renkli olup, iki komşusunun biri siyah diğeri de beyaz ise siyaha döner.

67 Wolfram, *New Kind of Science*, s. 4, http://www.wolframscience.com/nksonline/page-4-text.

Bence, 110. kuralın davranışı oldukça hoştur. Ayrıca tümden belirlenimci bir sürecin bütünüyle önceden kestirilemez sonuçlar doğurabileceği düşüncesi, tümüyle belirlenimci kurallara dayandığı halde, dünyanın, doğası gereği nasıl da önceden kestirilemez olduğunu açıklaması nedeniyle çok önemlidir.[68] Bununla birlikte, basit mekanizmaların kendi başlangıç koşullarından daha karmaşık sonuçlar üretebilmesi düşüncesine de tam olarak şaşırmam. Bu olguyu fraktallerde, kaos ve karmaşıklık kuramında, basit ağlarla başlayıp belirgin biçimde zeki davranışlar üretmek için kendiliğinden düzenlenen (nöron ağları ve Markov modelleri gibi) sistemlerde gördük.

Başka bir düzeyde bunu sıkıştırılmış genomda yalnızca yaklaşık otuz ile yüz milyon bit arası özellikle başlayıp, hemen hemen bir milyar kat daha fazla karmaşıklıkla sonuçlanan insan beyninde görüyoruz.[69]

Belirlenimci bir sürecin rastgele sonuçlar oluşturabilmesi de şaşırtıcı değildir. Belirlenimci süreçler kullanarak rastgelelik üzerinde uygulanan istatistik testlerini geçen diziler oluşturan rastgele sayı üreteçlerini (örneğin, Wolfram'ın Mathematica programındaki "rastgele seçim" işlevini) biliyoruz. Bu programlar, Fortran'ın ilk sürümleri gibi bilgisayar yazılımının ilk günlerine uzanır. Ancak Wolfram, bu gözlemin kuramsal temelini kapsamlı biçimde tanımlamıştır.

68 Bazı kuantum mekaniği yorumlarının dünyanın belirlenimci kurallar üzerine kurulmadığını, fiziki gerçekliğin (küçük) kuantum ölçeğindeki her etkileşimde içsel bir kuantum rastgeleliği olduğunu anıştırdığını göz önüne alın.

69 Yukarıda, 57. notta irdelendiği gibi sıkıştırılmamış genomda yaklaşık altı milyar bit bilgi bulunur (büyüklük kertesi = 10^{10} bit), sıkıştırılmış genom ise yaklaşık 30 ile 100 milyon bit arasındadır. Bu tasarım bilgisinin bir kısmı tabii ki diğer organlar için de geçerlidir. 100 milyon bitin tamamının beyin için geçerli olduğu varsayılsa bile beynin genomdaki tasarımı için 10^9 bit gibi hata payı düşük yükseklikte bir rakam elde ederiz. Üçüncü bölümde, "nöron bağlantıları düzeyindeki insan belleği" üzerine bir tahmini, olgunlaşmış bir beynin 10^{18} (milyar milyar) bitinin "bağlantı örüntüleri ve nöro-ileticilerin yoğunlukları" da dahil irdeleyeceğim. Bu, beynin tasarımını betimleyen genomun içerdiğinden hemen hemen bir milyar (10^9) kat daha fazla bilgidir. Bu artış, kişinin çevresiyle girdiği etkileşim sonucunda beynin kendiliğinden düzenlenmesinden doğar.

Basit bilgi işlem mekanizmalarının doğanın farklı düzeylerinde nasıl var olabildiklerini anlatarak devam eden Wolfram, bu basit ve belirlenimci mekanizmaların görüp yaşadığımız karmaşıklığın tümünü üretebildiğini gösterir. Hayvanların o alımlı renkli desenleri, kabukların biçim ve çizgileri ile (havadaki dumanın davranışındaki) burgaç örüntüleri gibi sayısız örnek verir. Bilgi işlemin temelde basit olduğuna ve her yerde bulunabildiğine işaret eder. Basit bilgi işlem dönüşümlerinin yinelenen uygulamaları Wolfram'a göre dünyadaki karmaşıklığın gerçek kaynağıdır.

Bence bu ancak kısmen doğrudur. Bilgi işlemin her yerde olduğu ve gördüğümüz örüntülerden bazılarının hücresel otomatların eşdeğeri tarafından oluşturulduğu konusunda Wolfram'a katılıyorum. Ancak sorgulanması gereken kilit konulardan biri, *4. sınıf otomatların sonuçlarının ne kadar karmaşık olduğu*dur.

Wolfram, karmaşıklığın dereceleri konusuna girmekten kaçınır. Satranç tahtası gibi bir bozulmuş örüntünün hiçbir karmaşıklık içermediği konusunda aynı düşünüyoruz. Wolfram, tek başına rastgeleliğin karmaşıklığı temsil etmediğini de kabul eder; çünkü salt rastgelelik, salt kestirilemezlik içerdiğinden kestirilebilir duruma gelir. 4. sınıf otomatların ilginç özelliklerinin yinelenmedikleri ve salt rastgele olmadıkları doğrudur. Bu nedenle diğer otomat sınıflarının ürettiği sonuçlardan daha karmaşık olduklarına katılıyorum.

Ancak, 4. sınıf otomatların ürettiği karmaşıklığın yine de belirgin bir sınırı vardır. Wolfram'ın kitabında bu tür otomatlar için verilen imgelerin çoğu benzer görüntüye sahiptir, yinelenmeseler de yalnızca bir dereceye kadar ilginçtirler (ve akıllıdırlar). Ayrıca, ne daha da karmaşık olan bir şeye doğru evrilirler ne de yeni tip özellikler geliştirirler. Bu otomatlar trilyon kez, hatta trilyon kere trilyon kez yinelenerek çalıştırılabilir, ama imge yine de aynı sınırlı karmaşıklık düzeyinde kalır. Başka şeylere, örneğin böceğe, insana ya da Chopin'in prelütlerine veya bu imgelerde gösterilen çizgiler ve iç içe geçmiş üçgenlerden daha yüksek karmaşıklık düzeyindeki herhangi bir başka şeye dönüşmezler.

Karmaşıklık, kendi içinde kesintisiz olarak sürüp gider. Burada "düzeni," "bir amaca uygun olan bilgi" olarak tanımlıyorum.[70] Bütünüyle önceden kestirilebilir bir süreç sıfır düzene sahiptir. Tek başına yüksek bilgi düzeyinin de mutlaka yüksek bir düzeni işaret etmesi gerekmez. Bir telefon rehberi çok sayıda bilgi içerir ancak bu bilginin düzencilik düzeyi oldukça düşüktür. Rastgele bir dizilim (kestirilemez olduğu için) temelde saf bilgidir ama düzene sahip değildir. 4. sınıf otomatların çıktısı belli düzeyde bir düzene sahiptir ve diğer süreklilik gösteren örüntüler gibi varlığını sürdürür. Ancak bir insanın temsil ettiği örüntü çok daha yüksek düzen ve karmaşıklık düzeyine sahiptir.

İnsanlar, çetin bir ekolojik nişte yaşamlarını sürdürmek gibi çok daha zorlu bir amacı gerçekleştirirler. İnsanlar diğer düzenlerin son derece çapraşık ve ayrıntılı bir hiyerarşisini temsil ederler. Wolfram birtakım tanınabilir özellikler ile önceden kestirilemez ögeleri birleştiren herhangi bir örüntüyü, uygulamada, diğerlerine eşdeğer olarak görmektedir. Ancak Wolfram 4. sınıf bir otomatın insan kadar karmaşık bir örüntüye dönüşebilmesi bir yana, karmaşıklığını nasıl artırabileceğini bile göstermez.

Burada eksik bir halka vardır. Bu, bir hücresel otomatın ilginç fakat sonuçta basmakalıp örüntülerinden, süreklilik gösteren daha üst zekâ düzeylerini sergileyen yapıların karmaşıklığına nasıl ulaşılabileceğini gösteren halkadır. Örneğin, bu 4. sınıf örüntüler ilginç problemleri çözme yeteneğine sahip değildirler; ne kadar yinelenirlerse yinelensinler bu yeteneğe yaklaşamazlar. Wolfram bir 110. kural otomatının bir "evrensel bilgisayar" olarak kullanılabileceği düşüncesine her halde karşı çıkacaktır.[71] Ancak bir evrensel bilgisayar, benim "yazılım" olarak adlandıracağım şey olmadan kendi başına zeki problemleri çözme yeteneğine sahip değildir. Konu da, tam olarak, evrensel bir bilgisayar üzerinde çalışan yazılımın karmaşıklığıdır.

70 *Bkz. The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence* (New York: Viking, 1999) adlı kitabımda s. 30–33'teki "Disdisorder" ve "The Law of Increasing Entropy Versus the Growth of Order" bölümleri.

71 Evrensel bir bilgisayar, herhangi bir diğer bilgisayarın tanımını girdi olarak kabul ederek o bilgisayarı simüle edebilir. Bu, simülasyonun görece yavaş olabilen hızıyla ilgili değildir.

4. sınıf örüntülerin mümkün olan en basit hücresel otomatlardan (tek boyutluluk, iki renklilik, iki komşululuk kuralı) çıktığı söylenebilir. Boyutluluğu artırırsak –örneğin, çoklu renklere yönlenirse ya da bu ayrık hücresel otomatlar sürekli fonksiyonlara genellenerek uygulanırsa– ne olur? Wolfram bunların tümünü kapsamlı olarak ele almaktadır. Daha karmaşık otomatlardan üretilen sonuçlar, temelde, çok basitlerinden üretilenlerle aynıdır. Aynı türden ilginç ama sonuçta oldukça sınırlı örüntüler elde ederiz. İlginç olan, Wolfram'ın sonuçta karmaşıklık elde edebilmek için daha karmaşık kurallar kullanmamıza gerek olmadığına işaret etmesidir. Bense bunun tersine, daha karmaşık kurallarla ya da daha fazla yinelemeyle sonucun karmaşıklığını artıramayacağımız düşüncesindeyim. Yani hücresel otomatlar bizi ancak buraya getirebilir.

Basit Kurallardan Yapay Zekâ Geliştirebilir miyiz?

Peki, bu ilginç ama sınırlı örüntülerden, böceklerin, insanların ya da Chopin'in prelütlerinin örüntülerine nasıl ulaşırız? Hesaba katmamız gereken kavramlardan biri çatışma, yani *evrim*dir. Wolfram'ın basit hücresel otomatlarına basit bir kavram –bir evrim algoritması– daha eklersek çok daha heyecanlı, çok daha zeki sonuçlar elde etmeye başlarız. Wolfram 4. sınıf otomatlar ile bir evrim algoritmasının "bilgi işlem bakımından eşdeğer" olduklarını söyleyebilir. Ancak bu, benim "donanım" düzeyi olarak gördüğüm düzey için geçerlidir. Yazılım düzeyinde, oluşturulan örüntülerin düzeni belirgin biçimde farklıdır; farklı bir karmaşıklık ve yararlılık düzenine sahiptir.

Bir evrim algoritması, bir sorun için rastgele üretilen, sayısal genetik kodunda şifrelenmiş potansiyel çözümlerle başlayabilir. O halde önümüzde, simüle edilmiş bir evrimsel savaşta, birbirleriyle rekabete giren çözümlerin bulunduğunu söyleyebiliriz. Daha iyi olan çözümler yaşamda kalır, genetik kodlarını (şifrelenmiş çözümler) iki ebeveynden alan yavru çözümlerin ortaya çıktığı bir eşeyli üreme simülasyonunda ürerler. Buna genetik değişinim oranını da ekleyebiliriz. Değişinim oranı, yavruların oranı gibi bu sürecin çeşitli yüksek düzeyli parametrelerine "tanrısal parametreler" adı verilir ve

bu parametreleri akla uygun biçimde en uygun değerlere ayarlamak da, evrim algoritmasının tasarımını yapan mühendisin görevidir. Süreç, binlerce simüle edilmiş evrim kuşağı boyunca işler, sürecin sonunda başlangıçtakinden çok daha yüksek düzende çözümler bulunması olasıdır.

Bu evrim (kimi zaman genetik olarak da adlandırılır) algoritmalarının sonuçları karmaşık problemlere getirilen zarif, güzel, zeki çözümler olabilmektedir. Bunlar, jet motorlarının tasarımı gibi çok geniş bir alanda, uygulamaya dönük çalışmalarda kullanılmalarının yanı sıra, örneğin, sanat tasarımları ve yapay yaşam türlerinin tasarımlarını oluşturmak için de kullanılmışlardır. Genetik algoritmalar, "dar" yapay zekâya, yani, daha önceleri insan zekâsının uygulamasını gerektiren belli işlevleri yürütebilen sistemleri oluşturmaya yönelik yaklaşımlardan biridir.

Yine de eksik olan bir şey vardır. Genetik algoritmalar her ne kadar belli problemlerin çözümü için yararlı araçlar olsalar da, "güçlü yapay zekâyı," yani insan zekâsının geniş, derin ve incelikli yeteneklerini, özellikle de örüntü tanıma, dilde yetkinlik gibi erkleri andıran herhangi bir yeteneğe ulaşamamışlardır. Sorun, evrim algoritmalarını yeterince uzun işletmemiş olmamız mıdır? Sonuçta, insanlar milyarlarca yıllık bir süreçte evrilmişlerdir. Belki de bu süreci birkaç günlük ya da haftalık bilgisayar simülasyonuyla yeniden yaratmamız mümkün değildir. Ancak, geleneksel genetik algoritmalar kendi performans düzeylerinde bir asimptota ulaştıklarından, bunları daha uzun süre çalıştırmak da işe yaramayacaktır.

Üçüncü (belirgin rastgelelik üretecek hücresel süreçlerin ve özel zeki çözümler üretecek genetik algoritmaların yeteneklerinin ötesinde) bir düzey, evrimi birçok farklı düzeyde işletmektir. Geleneksel genetik algoritmalar evrime yalnızca dar bir sorunun ve tek bir evrim yönteminin sınırları içinde izin verirler. Genetik kodun kendisinin evrimden geçmeğe gereksinimi vardır; evrimin kurallarının evrimden geçmesi gerekmektedir. Örneğin, doğa tek bir kromozomla yetinmemiştir. Birçok dolaylama düzeyi doğal evrim sürecinde yerleşiktir. Bizim de evrimin gerçekleştiği karmaşık bir ortama gereksinimimiz vardır.

Ancak, güçlü yapay zekâyı yapabilmek için daha şimdiden epeyce yol almış olan insan beyninde ters mühendislik işlemiyle bu sürece kısa devre yaptırabilme olanağımız olacak; böylece zaten gerçekleşmiş evrim sürecinden de yararlanabileceğiz. Tıpkı insan beyninin yaptığı gibi, bu çözümler kapsamında evrim algoritmalarını uygulayabileceğiz. Örneğin, cenin kablolama, başlangıçta, en azından genomdaki bazı bölgelerde belirlenen kısıtlar dahilinde rastgeledir. Son araştırmalar, duyu süreçleri deneyimiyle ilintili yapıların doğumdan sonra daha az değiştiğini, buna karşın öğrenmeyle ilgili bölgelerin daha çok değişime uğradığını göstermektedir.[72]

Wolfram, belli bilgi işlem süreçlerinin (gerçekte çoğunun) önceden kestirilemeyeceğini söyleyerek, geçerli bir noktaya işaret etmektedir. Bir başka deyişle, sürecin tamamını işletmeden, gelecekteki durumları öngöremeyiz. Sorunun yanıtını yalnızca bir süreci bir şekilde daha hızlı simüle edebilirsek önceden bilebileceğimiz konusunda Wolfram'a katılıyorum. Evren olabileceği en yüksek hızda işlediğine göre bu sürece kısa devre yaptırmanın yolu çoğunlukla yoktur. Ancak, elimizde zaten gerçekleşmiş, doğal dünyanın son derece artmış karmaşıklık düzeninin nedeni olan milyarlarca yıllık evrimin avantajları vardır. Gelişmiş araçlarımızı kullanarak biyolojik evrimin (en önemlisi de insan beyninin) ürünleri üzerinde ters mühendislik işlemi uygulamak için artık bundan yararlanabiliriz.

Evet, bir düzeyde karmaşık gibi görünebilen doğadaki bazı olguların, temelde, sadece bu olguların ardında iş gören hücresel otomatlardan, yani basit bilgi işlem mekanizmalarından kaynaklandıkları doğrudur. Bir "Oliva Porphyria" deniz kabuklusunun üzerindeki ilginç üçgen örüntüler (Wolfram bunlardan kapsamlı olarak söz eder) ya da bir kar tanesinin girift

---

72 C. Geoffrey Woods, "Crossing the Midline," *Science* 304.5676 (4 Haziran 2004): 1455–1456; Stephen Matthews, "Early Programming of the Hypothalamo-Pituitary-Adrenal Axis," *Trends in Endocrinology and Metabolism* 13.9 (1 Kasım 2002): 373–380; Justin Crowley ve Lawrence Katz, "Early Development of Ocular Dominance Columns," *Science* 290.5495 (17 Kasım 2000): 1321–1324; Anna Penn vd, "Competition in the Retinogeniculate Patterning Driven by Spontaneous Activity," *Science* 279.5359 (27 Mart 1998): 2108–2112.

ve değişken örüntüleri bunun iyi örnekleridir. Kar tanelerinin deseninin basit moleküler bilgi işlem benzeri bir kurgu süreciyle türediğini öteden beri düşündüğümüz için, bunun yeni bir gözlem olduğunu düşünmüyorum. Ancak Wolfram bu süreçlerin ve sonuçta oluşan örüntülerin ifadesi için bize oldukça ilginç bir kuramsal temel sağlamaktadır. Bununla birlikte, biyolojide 4. sınıf örüntülerden fazlası vardır.

Wolfram'ın bir diğer önemli savı, kapsamlı biçimde ele aldığı, bilgi işlemin basit, aynı zamanda da her yerde olabilen bir olgu olduğu düşüncesidir. Bilgi işlemin özünde basit olduğunu yüz yıldan uzun bir süredir elbette biliyoruz: Bilginin en basit olası biçimlerde işlenişi temelinde olası her karmaşıklık düzeyini oluşturabiliriz.

Örneğin, Charles Babbage'ın on dokuzuncu yüzyılın sonlarında yaptığı (ve asla çalışmayan) mekanik bilgisayar, (bellek ve hız kapasitesine göre) yalnızca birkaç işletim kodu sağlamasına karşın, yine de modern bilgisayarların sağladığı türden dönüşümleri sunmaktaydı. Babbage'ın icadının karmaşıklığı yalnızca tasarımının ayrıntılarındaki sorunlardan kaynaklanmaktaydı ki bunların çözümü de o dönemin teknolojisiyle oldukça zordu.

Alan Turing'in 1950'lerde kuramsal bir evrensel bilgisayar düşüncesine dayanan Turing makinesi, yalnızca çok temel yedi komut içermekle birlikte, her olası bilgi işlem hesabını yapmak için düzenlenebilmektedir.[73] Şerit belleğinde betimlenen, her olası Turing makinesini simüle edebilen bir "evrensel Turing makinesinin" varlığı, bilgi işlemin evrenselliğini ve basitliğini daha geniş biçimde örneklemektedir.[74]

---

73 Turing makinesinin yedi komutu şunlardır: (1) Şerit Oku, (2) Şeridi Sola Taşı, (3) Şeridi Sağa Taşı, (4) Şeride 0 Yaz, (5) Şeride 1 Yaz, (6) Başka Komuta Git ve (7) Dur.

74 Wolfram, kitabında verdiği belki de en etkileyici çözümlemede yalnızca iki konumlu ve beş renk olasılıklı bir Turing makinesinin nasıl evrensel bir Turing makinesi olabildiğini gösterir. Kırk yıl boyunca Turing makinesinin bundan daha karmaşık olması gerektiğini düşündük. Wolfram'ın, doğru yazılım olduğu takdirde 110 numaralı kuralın evrensel bilgi işlem gerçekleştirme kapasitesine sahip olduğunu örneklemesi de etkileyicidir. Uygun yazılım

The Age of Intelligent Machines adlı kitabımda, "uygun sayıdaki basit [bir] aygıttan," yani "veya değil" geçidinden herhangi bir bilgisayarın nasıl kurulabileceğini göstermiştim.[20] Bu, evrensel bir Turing makinesiyle tam olarak aynı şeyi göstermez, ama doğru yazılım (bu durumda veya değil geçitlerinin bağlantı tanımlarını içermektedir) olduğu takdirde, bu çok basit (110. kuraldan daha basit) aygıtın basamaklarıyla her tür bilgi işlemin yürütülebileceğini gösterir.[21]

Problemlere zeki çözümler üretecek bir evrim sürecini tanımlamak için ek kavramlara gereksinim duysak da, Wolfram'ın bilgi işlemin basitliğini ve aynı zamanda her yerde olabilmesini ortaya koyması, bilginin dünyadaki temel önemini kavrayışımıza yaptığı önemli bir katkıdır.

Molly 2004: *Gittikçe hızlanarak evrilen makineleriniz var. Peki, ya insanlar?*

Ray: *Biyolojik insanları mı kastediyorsun?*

Molly 2004: *Evet.*

Charles Darwin: *Sanırım biyolojik evrim sürüyor, değil mi?*

Ray: *Biyoloji bu aşamada sözü edilmeyecek kadar yavaş bir evrimden geçiyor. Evrimin dolaylama yoluyla işlediğini söyledim. Görünen o ki, biyolojik evrim gibi daha eski paradigmalar sürüyor ama yine eski hızlarıyla sürdüklerinden yeni paradigmaların gölgesinde kalıyorlar. İnsan kadar karmaşık hayvanların biyolojik evriminin fark edilebilir ama yine de küçük farklar yaratabilmesi için on binlerce yıl geçmesi gerekir. İnsanın kültürel ve teknolojik evriminin tüm tarihi o zaman ölçütünde yer aldı. Ancak, artık yalnızca yirmi ya da otuz yıl içinde biyolojik evrimin kırılgan ve yavaş yaratılarının ötesine çıkmaya hazırız. Bugünkü ilerleme, biyolojik evrimden bin ile milyon kat arasında daha hızlıdır.*

---

olmadan evrensel bilgi işlem tabii ki tek başına işe yarar bir çalışma gerçekleştiremez.

75 "Veya değil" geçidi iki girdiyi bir girdiye dönüştürür. "Veya değil"in çıktısı ancak ve ancak *ne* A *ne de* B doğru değilse doğrudur.

76 *Bkz. The Age of Intelligent Machines* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1990), s. 152–157'deki "A nor B : The Basis of Intelligence?" bölümü, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?m=12.

Ned Ludd: *Peki, ya bunu herkes kabul etmek istemezse?*

Ray: *Etmelerini beklemem. Bir şeyi ilk benimseyenler ve geç benimseyenler hep olur. Teknolojide ya da herhangi bir evrimsel değişimde bir ileri uç ile bunun peşinden sürüklenen uç daima vardır. Hâlâ çift süren insanlar var ama bu, cep telefonlarının, telekomünikasyonun, internetin, biyoteknolojinin benimsenmesini yavaşlatmadı. Bununla birlikte, geriden gelen uç eninde sonunda öndekilere yetişir. Asya'da endüstrileşme evresi yaşamadan doğrudan tarım ekonomisinden bilgi ekonomisine geçen toplumlar var.*[77]

Ned: *Olabilir ama sayısal bölünme giderek kötüleşiyor.*

Ray: *İnsanların bunu söylediklerini biliyorum ama bu nasıl doğru olabilir ki? İnsanların sayısı çok yavaş artıyor. Sayısal bağlantısı olan insanların sayısı, nasıl ölçerseniz ölçün, hızla artıyor. Dünya nüfusunun giderek daha büyük bölümü elektronik iletişim araçları ediniyor, ilkel kablolu telefon sistemimizi atlayıp kablosuz internete bağlanıyorlar, böylelikle sayısal alandaki ayrım hızla küçülüyor, büyümüyor.*

Molly 2004: *Ben yine de bu var/yok konusuyla yeterince ilgilenilmediğini düşünüyorum. Daha fazlasını yapabiliriz.*

Ray: *Doğru, ama ivmelenen getiriler yasasının ağır basan, kişiler üstü güçleri yine de doğru yönde ilerliyor. Teknolojinin belli bir bölgede önce karşılanamayacak kadar pahalı çıktığını, pek de düzgün çalışmadığını düşünün. Sonra yalnızca pahalıdır, biraz daha iyi çalışır. Bir sonraki adımda ise ürün ucuzlar ve mükemmel çalışır. Sonunda bu teknoloji neredeyse bedava olur ve mükemmel bir biçimde çalışır. Bir filmde gördüğümüz cep telefonu kullanan kişinin, yalnızca zenginlerin cep telefonu almaya gücü yetti-*

77 Birleşmiş Milletler Asya ve Pasifik Ekonomik ve Sosyal Konseyi, "Regional Road Map Towards an Information Society in Asia and the Pacific," ST/ESCAP/2283, http://www.unescap.org/publications/detail.asp?id=771; Birleşmiş Milletler Batı Asya Ekonomik ve Sosyal Komisyonu, "Regional Profile of the Information Society in Western Asia," 8 Ekim 2003, http://www.escwa.org.lb/information/publications/ictd/docs/ictd-03-11-e.pdf; John Enger, "Asia in the Global Information Economy: The Rise of Region-States, The Role of Telecommunications," International Conference on Satellite and Cable Television in Chineese and Asian Regions (Uluslararası Çin ve Asya Bölgelerinde Uydu ve Kablolu Televizyon Konferansı), İletişim Sanatları Araştırma Enstitüsü, Fu Jen Katolik Üniversitesi, 4–6 Haziran 1996.

ği için iktidar elitine mensup olduğunu düşünmemiz çok eski değildir. Daha etkili bir örnek olarak AIDS ilaçlarını düşünelim. Bu ilaçlar ilk başlarda çok etkili değildi; maliyeti hasta başına yılda on bin dolardan fazlaydı. Şimdi çok daha etkili, yoksul ülkelerde yılda yalnızca birkaç yüz dolara düştü.[78] *Ne yazık ki AIDS konusunda mükemmel sonuçların alındığı, hemen hemen hiçbir maliyetin olmadığı aşamaya henüz gelemedik. AIDS'e karşı bir dereceye kadar daha etkin önlemler alınmakla birlikte daha fazlasının yapılmamış olması üzücüdür. Çoğu Afrika'da olmak üzere milyonlarca ölüm oldu. Ancak ivmelenen getiriler yasasının etkisi yine de doğru yönde ilerlemekte. İleri uç ile arkadan gelen uç arasındaki zaman aralığı da küçülmekte. Şu anda bu aralığı on yıl olarak öngörüyorum. On yıl içinde bu aralık beş yıla düşecektir.*

Ekonomik Zorunluluk Olarak Tekillik

Akılcı insan dünyaya uyum sağlar; akılcı olmayan ise ısrarla dünyayı kendine uydurmaya çalışır. Bu nedenle de bütün süreç akılcı olmayan insana bağlıdır.

—George Bernard Shaw, "Maxims For Revolutionists," *Man And Superman* [*İnsan ve Süper İnsan*], 1903

Bütün ilerleme, evrensel olarak her organizmanın doğasında bulunan, kazancının ötesinde yaşama arzusuna dayanır.

—Samuel Butler, *Notebooks* [*Defterler*], 1912

Yeni bir iş kurmak için Batı Yakasına yaptığım o yolculuğa bugün çıkıyor olsaydım, biyoteknoloji ve nano teknolojiye bakardım.

—Jeff Bezos, Amazon.Com'un Kurucusu ve Başkanı

78 *Bkz.* "The 3 by 5 Initiative," Temel Veriler 274, Aralık 2003, http://www.who.int/mediacentre/factsheets/2003/fs274/en/print.html.

Seksen Trilyon Dolar Elde Edebilirsiniz. Yalnızca Sınırlı Süre için

Yalnızca bu bölümü okuyup, yazılanları anlayarak seksen trilyon dolar kazanabilirsiniz. Ayrıntıların tamamı için aşağıya bakın. (Bir yazarın, dikkatinizi elinde tutmak için yapamayacağı hiçbir şeyin olmayacağı bir yana, ben bu söylediğimde ciddiyim. Ancak, daha fazla açıklama yapmadan önce bu paragrafın ilk cümlesini dikkatle okuyun.)

İvmelenen getiriler yasası, temelde ekonomik bir kuramdır. Çağdaş ekonominin benimsediği kuram ve ilkeler, enerji maliyetleri, ticari ürün fiyatları ile tesis ve donanıma yapılan sermaye yatırımını ana itici unsur olarak vurgulayan zamanı geçmiş modellere dayanmakta, bilgi işlem kapasitesi, bellek, bant genişliği, teknolojinin boyutları, fikri mülkiyet, bilgi ve ekonomiyi yönlendiren, önemi giderek artan (ve giderek büyüyen) diğer bileşenleri göz ardı etmektedir.

Teknolojiyi ilerlemeye yönlendirerek, ivmelenen getiriler yasasını körükleyen temel güç, rekabetçi piyasanın getirdiği ekonomik zorunluluktur. Buna bağlı olarak ivmelenen getiriler yasası da ekonomik ilişkileri dönüştürmektedir. Ekonomik zorunluluk, biyolojik evrimdeki yaşamda kalmaya eşdeğerdir. Her biri kendine özgü ekonomik gerekçelere dayanan çok sayıda küçük gelişme sayesinde daha zeki ve daha küçük makinelere doğru ilerlemekteyiz. Misyonlarını daha kusursuz yürütebilen makinelerin değeri artar, bu da bu makinelerin yapılmalarının nedenini açıklar. İvmelenen getiriler yasasının farklı yönlerini geliştiren ve bunu, çeşitliliği giderek artan yollarla gerçekleştiren on binlerce proje bulunmaktadır.

Kısa vadeli iş döngüleri ne olursa olsun, iş dünyasında "yüksek teknolojiye," özellikle de yazılım geliştirmeye verilen destek büyük ölçüde artmıştır. 1974'te optik karakter tanıma (OCR) ve konuşma bireşimi (Kurzweil Bilgisayar Ürünleri) şirketimi kurduğum zaman, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yüksek teknoloji girişimleri toplamda (doların 1974'teki değeriyle) otuz milyon dolardan azdı. Bu rakam, yakın zamanlardaki yüksek teknoloji alanında yaşanan durgunluk döneminde (2000–2003) bile bunun yüz katıydı.[79] Artık bu ilerlemeyi durdurmak için kapitalizmi ve

79 Teknoloji yatırımları, 1998 yılının risk sermayesi yatırımlarının yüzde 76'sını oluşturuyordu (10,1 milyar dolar) (PricewaterhouseCoopers haber

ekonomik rekabetin tüm izlerini ortadan kaldırmamız gerekir.

"Yeni" bilgiye dayalı ekonomiye doğru üstel hızla ama yine de adım adım ilerlediğimizi belirtmek önemlidir.[80] Yeni olarak nitelenen ekonominin iş modellerini bir gecede dönüştürüvermediğini gören birçok gözlemci, bu düşünceyi, doğası gereği kusurlu diye çabucak gözden çıkarıvermişti. Bilginin ekonomiyi egemenliğine almasına daha yirmi ya da otuz yıl olmakla birlikte, bu gerçekleştiğinde çok derin değişimleri ortaya çıkaracaktır.

Aynı olguyu internet ve telekomünikasyonun durumunda yaşanan sert dalgalanmalarda görmüştük. Yükselişler, internet ve dağıtık elektronik iletişimin temel dönüşümleri temsil ettiğine dair geçerli bir içgöçüyle körüklendi. Ancak bu dönüşümler gerçekçi olmayan süreler içinde gerçekleşmeyince, iki trilyon dolardan fazla piyasa sermayesi yok oldu. Aşağıda belirttiğim gibi, bu teknolojilerin gerçek anlamda benimsenişi, herhangi bir ani

---

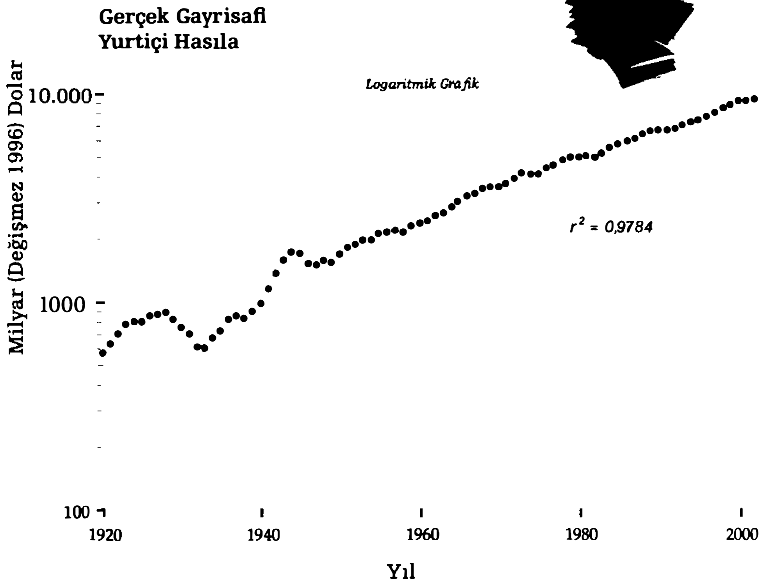
bülteni, "Venture Capital Investments Rise 24 Percent and Set Record at $14.7 Billion, PricewaterhouseCoopers Finds," 16 Şubat 1999). 1999'da teknoloji tabanlı şirketler risk sermayesi yatırımlarının (32 milyar dolar) yüzde 90'ını ele geçirdi (PricewaterhouseCoopers haber bülteni, "Venture Funding Explosion Continues: Annual and Quarterly Investment Records Smashed, According to PricewaterhouseCoopers Money Tree National Survey," 14 Şubat 2000). Risk sermayesi düzeyleri yüksek teknolojinin durgunluk döneminde tabii ki düşmüştür, ama daha 2003 yılının ikinci çeyreğinde yalnızca yazılım şirketleri bir milyar dolara yaklaşmıştır (PricewaterhouseCoopers haber bülteni, "Venture Capital Investments Stabilize in Q2 2003," 29 Temmuz 2003. 1974'te ABD'deki tüm imalat endüstrilerindeki kırk dört şirket risk sermayesi ödemelerinde 26,4 milyon dolar (doların 1974'teki değeriyle; ya da doların 1992'deki değeriyle 81 milyon dolar) elde etti. Samuel Kortum ve Josh Lerner, "Assessing the Contribution of Venture Capital to Innovation," *RAND Journal of Economics* 31.4 (Kış 2000): 674–692, http://econ.bu.edu/kortum/rje_Winter'00_Kortum.pdf. Paul Gompers ve Josh Lerner'in dediği gibi, "Risk sermayesi fonlarına giren para 1970'lerin ortalarında neredeyse sıfırdan başlayarak artmıştır..." Gompers ve Lerner, *The Venture Capital Cycle* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1999). *Ayrıca bkz.* Paul Gompers, "Venture Capital," *Handbook of Corporate Finance: Empirical Corporate Finance* içinde, yay. haz. B. Espen Eckbo, Finans El Kitapları dizisi (Holland: Elsevier, yayımlanacak), 11. bölüm, 2005, http://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/espen.eckbo/PDFs/ Handbookpdf/CH11-VentureCapital.pdf.

80 "Yeni ekonomi" teknolojilerinin "eski ekonomi" endüstrilerinde gerçekleştirdiği önemli dönüşümlerin öyküsü için: Jonathan Rauch, "The New Old Economy: Oil, Computers, and the Reinvention of the Earth," *Atlantic Monthly*, 3 Ocak 2001.

yükseliş ya da düşüş belirtisi göstermeyen bir seyirle gelişmiştir.

Ekonomi derslerinde öğretilen, ABD merkez bankasının para politikalarını, resmi kuruluşların da ekonomi politikalarını belirlemek için kullandığı ve birçok tahmincinin başvurduğu ekonomik modellerin hemen hepsi, uzun vadeli yönelimlere bakışlarında temelde hatalıdırlar. Bunun nedeni, tarihe dayalı üstel bakış yerine, "sezgisel–doğrusal" tarih bakışına (değişimin hızının, mevcut hızıyla süregideceği varsayımına) dayandırılmalarıdır. Bu doğrusal modellerin bir süreliğine çalışır gibi görünmeleri, çoğu insanın öncelikle sezgisel–doğrusal bakışı benimsemesiyle aynı nedene dayanır: Üstel eğilim kısa bir süre için, özellikle de pek fazla bir hareketin olmadığı başlangıç dönemlerinde gözlemlenip yaşandığında, doğrusal gibi görünür. Ancak "eğri dirseğine" bir kere erişilip, üstel büyüme patladığında, doğrusal model çöker.

Bu kitabın yazıldığı sıralarda, ülkede, Sosyal Güvenlik Programının, yaklaşık benim Tekillik için öngördüğüm süre olan (*bkz.* sonraki bolum) 2042'ye kadar uzanan öngörüler temelinde değiştirilmesi tartışması sürüyordu. Ekonomi politikasının bu şekilde gözden geçirilerek değerlendirilmesi, kapsadığı uzun dönemler için sıra dışıdır. Tahminler, hiç gerçekçi olmayan, yaşam sürelerinde artışın ve ekonomik büyümenin doğrusal modellerine dayandırılmaktadır. Bir yanda, yaşam sürelerindeki artışlar hükümetin alçakgönüllü beklentilerini bir hayli geride bırakacaktır. Diğer yanda, insanlar altmış beş yaşına gelip de hâlâ otuz yaşın beden ve beynine sahipken, bu yaşta emekli olmak istemeyeceklerdir. En önemlisi de "GNR" teknolojilerinden kaynaklanan (*bkz.* beşinci bölüm) ekonomik büyüme, kullanılan yılda yüzde 1,7'lik tahminlerin (ki bu tahminler son on beş yılda yaşadıklarımızı bile yarı yarıya düşük göstermektedir) büyük ölçüde ilerisine geçecektir.

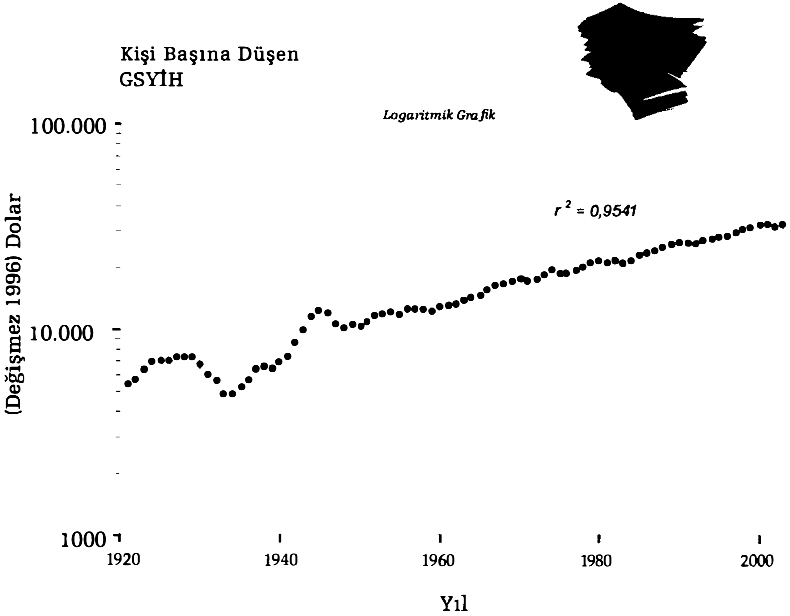


Üretkenliğin artmasının temelinde yatan üstel eğilimler, bu patlama evresine henüz girmiş olmayacaktır. Aşağıdaki şekilde görüleceği gibi, ABD'nin gerçek gayrisafi yurtiçi hasılası üstel olarak büyümüş, teknolojiden kaynaklanan üretkenlik artışıyla beslenmiştir.[81]

Bazı eleştirmenler, GSYİH'deki üstel büyümeyi nüfus artışına dayandırsalar da aynı eğilimi kişi başına düşen rakam bazında da görürüz (*bkz.* aşağıdaki şekil).[82]

81 ABD Ticaret Bakanlığı Ekonomik Analiz Bürosu, (http://www.bea.doc.gov); http://www.bea.doc.gov/bea/dn/nipaweb/SelectTable. asp?Selected=N adresindeki web sitesini kullanarak Tablo 1.1.6'yı seçin.

82 ABD Ticaret Bakanlığı Ekonomik Analiz Bürosu, http://www.bea.doc.gov. 1920–1999 arası veriler: Nüfus Hesaplama Programı, Nüfus Dairesi, ABD Nüfus İdaresi, "Historical National Population Estimates: July 1, 1900 to July 1, 1999," http://www.census.gov/popest/archives/1990s/popclockest.txt; 2000–2004 arası veriler: http://www.census.gov/popest/states/tables/NST-EST2004-01.pdf.



Ekonominin temelindeki üstel büyümenin, dönemsel durgunluktan çok daha etkili bir güç olduğuna dikkat edin. En önemlisi, buhranlar da dahil durgunluklar, temeldeki eğriden yalnızca geçici sapmaları gösterir. Büyük Buhran bile, temel oluşturan büyüme örüntüsü bağlamındaki minik bir darbeyi temsil etmektedir. Sonuçta, ekonomi her seferinde, tam da durgunluğun/buhranın hiç yaşanmamış olduğu durumda gitmiş olacağı noktaya varır.

Dünya ekonomisi ivme kazanmaya devam etmektedir. 2004'ün sonlarında Dünya Bankası, biten yılın tüm dünyada yüzde 4'lük ekonomik büyümeyle tarihin en gönençli yılı olduğunu belirten bir rapor yayımladı.[83] Üstelik yüzde 6'nın üzerinde gerçekleşen en yüksek hızlar, gelişmekte olan ülkelerde ortaya çıktı. Çin ile Hin-

83 "The Global Economy: From Recovery to Expansion," Sonuçlar şu kaynaktan alınmıştır: *Global Economic Prospects 2005: Trade, Regionalism and Prosperity* (Dünya Bankası, 2004), http://globaloutlook.worldbank.org/globaloutlook/outside/globalgrowth.aspx; "World Bank: 2004 Economic Growth Lifts Millions from Poverty," *Voice of America News*, http://www.voanews.com/english/2004-11-17-voa41.cfm.

distan'ın değerleri hesaba katılmadığında bile büyüme yüzde 5'in üzerinde hesaplanmaktadır. Doğu Asya ve Pasifik bölgesinde aşırı yoksulluk sınırında yaşayan insanların sayısı 1990'da 470 milyon iken 2001'de 270 milyona düşmüştür; Dünya Bankası 2015 yılında bu sayının 20 milyonun altında olacağını öngörmektedir. Diğer bölgeler de bu kadar çarpıcı olmamakla birlikte benzer ekonomik büyüme değerleri göstermektedir.

Üretkenlik de (işçi başına ekonomik çıktı) üstel olarak artmaktadır. Ürün ve hizmetlerin nitelik ve özelliklerindeki önemli gelişmeleri tam yansıtmadıkları için, gerçekte bu istatistikler değerleri olduklarından çok daha düşük göstermektedir. "Bir araba her zaman bir arabadır" yargısı bu açıdan yerinde bir yaklaşım değildir, çünkü güvenlik, güvenilirlik ve özelliklerde büyük iyileştirmeler olmuştur. Bugünün bin dolarlık bilgi işlemi tabii ki on yıl öncesinin bin dolarlık bilgi işleminden (binin üzerinde bir katsayıyla) çok daha güçlüdür. Bunun gibi başka birçok örnek vardır. Tıbbi ilaçlar giderek daha fazla etkili olmaktadır; çünkü artık hastalığın ve yaşlanma sürecinin temelindeki metabolik seyir yönünü en az yan etkiyle, kesin olarak değiştirmek üzere tasarlanmaktadırlar (bugün piyasada bulunan ilaçların çoğunun hâlâ eski paradigmayı yansıttığına dikkat edin; *bkz.* beşinci bölüm). İnternet üzerinden beş dakikada ısmarlanıp, kapınıza kadar getirilen ürünler, kendinizin gidip alması gereken ürünlerden çok daha değerli. Bedeninize göre özel olarak hazırlanan giysiler, bir mağazanın raflarında bulacağınız giysilerden çok daha değerli. Bu tür iyileşmeler çoğu ürün grubunda görülmekle birlikte bu gelişmelerin hiçbiri üretkenlik istatistiklerinde gösterilmez.

Üretkenlik ölçümlerinde kullanılan istatistik yöntemleri özünde, şimdilerde bir dolar karşılığında bir dolarlık ürün ve hizmet aldığımızı varsaymakta; bu bir dolar karşılığında çok daha fazlasını elde etmemize karşın, elde edilen bu kazançları hesaba katmamaktadır. (Bilgisayarlar bu olgunun uç ama yayılan örneğidir.) Chicago Üniversitesi profesörlerinden Pete Klenow ile Rochester Üniversitesi profesörlerinden Mark Bils, niteliksel iyileştirmeler sayesinde, mevcut ürünlerin değişmez dolar cinsinden değerlerinin son yirmi yılda, yılda yüzde 1,5 oranında artmış olduğunu

hesaplamaktadırlar.[84] Bu hesaplama yine de bütünüyle yeni ürün ve ürün gruplarının (örneğin, cep telefonları, çağrı cihazları, cep bilgisayarları, indirilen müzikler, yazılım programları) piyasaya sunulmasını açıklamamaktadır. Ayrıca, Dünya Çapında Ağın da artmaya başlayan değerini dikkate almaz. Ya bilgi erişimine etkili kapılar açan çevrimiçi ansiklopediler ve arama motorları gibi açık kaynakların kullanımını nasıl değerlendiririz?

Enflasyon istatistiklerinden sorumlu Çalışma İstatistikleri Ofisi yılda yalnızca yüzde 0,5'lik bir kalite artışı tahminini içeren bir model kullanmaktadır.[85] Klenow ile Bils'in tutucu tahminlerini kullanırsak, bu, kalite artışını sistematik olarak olduğundan düşük, sonucunda da enflasyonu olduğundan yılda en az yüzde 1 oranında yüksek öngören bir değerlendirmeyi yansıtır. Bu yine de, yeni ürün gruplarını açıklamaz.

Üretkenlikle ilgili istatistik yöntemlerinin bu zayıf yönlerine karşın, üretkenlikte elde edilen kazanımlar aslında artık üstel eğrinin dikleşen bölümüne erişmektedir. Çalışma üretkenliği 1994 yılına kadar yılda yüzde 1,6 oranında büyümüş, ardından yılda yüzde 2,4 artmıştır. Bugün ise daha da hızlı artmaktadır. 1995 – 1999 arasında saat başına düşen üretim yılda yüzde 4,4 oranında artarken, dayanıklı ürünlerin üretimi yılda yüzde 6,5 oranında artmıştır. 2004'ün ilk çeyreğinde mevsimsel olarak belirlenen yıllık üretkenlik değişimi, iş sektöründe yüzde 4,6, dayanıklı ürünlerin üretiminde ise yüzde 5,9 olmuştur.[86]

Son yarım yüzyılda, bir saatlik çalışma sonucunda üretilen değerde düzgün bir üstel büyüme görülmektedir (*bkz.* aşağıdaki şekil). Yine bu eğilim de, bir doların bilgi teknolojilerini satın almadaki (fiyat performansı genelinde yılda bir kez ikiye katlanan) çok daha yüksek değerini dikkate almaz.[87]

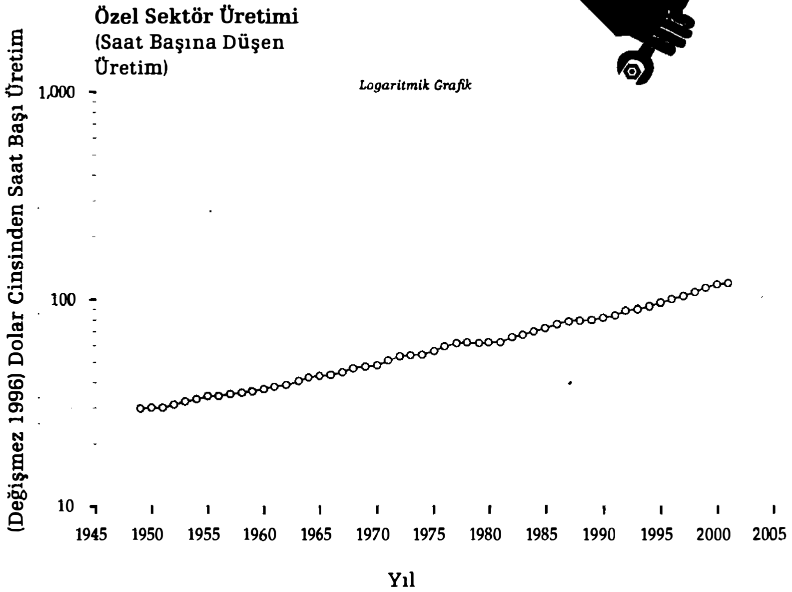
---

84 Mark Bils ve Peter Klenow, "The Acceleration in Variety Growth," *American Economic Review* 91.2 (Mayıs 2001): 274-280, http://www.klenow.com/Acceleration.pdf.

85 *Bkz.* 84., 86. ve 87. notlar.

86 ABD Çalışma Bakanlığı, Çalışma İstatistikleri Ofisi haber bülteni, 3 Haziran 2004. http://www.bls.gov/bls/productivity.htm adresinde üretkenlik raporlarını bulabilirsiniz.

87 İşgücü İstatistikleri Bürosu, Büyük Sektör Çok Faktörlü Üretkenlik Endeksi, Sanayi Sektörü: Tüm Kişiler / Saat Üretim (1996 = 100), http://data.bls.gov/PDQ/outside.jsp?survey=mp (JavaScript gerektirir: "Manufacturing," "Output



Deflasyon ... Kötü Bir Şey mi?

1846'da ülkemizde makineyle yapılmış tek bir giysi olmadığını düşünüyoruz; o yıl dikiş makinesi için ilk Amerikan patenti verildi. Şimdi ise binlerce insan, demir parmakların, kaşmir örücüsü bir genç kızınkiyle boy ölçüşebilecek incelikle diktiği giysileri giymektedir.

—*Scientific American* dergisi, 1853

Bu kitap yazıldığı sırada, siyasi sağda ya da solda olsun, egemen akım ekonomistlerinin kaygılarından biri deflasyondur. Görünüşte, paranızın daha fazla etmesi iyi bir şey gibi görünür. Ekonomistleri kaygılandıran, ekonominin (dolarla ölçümüne göre), tüketicilerin gereksinip istedikleri şeyleri daha az dolar karşılığında alabildiklerinde küçüleceğidir. Ancak bu düşüncenin göz

Per Hour All Persons" ve başlangıç yılı olarak 1949 seçiniz), ya da http://data.bls.gov/cgi-bin/srgate ("MPU300001," "All Years" dizilerini ve Format 2'yi kullanın).

ardı ettiği şey, insanların tüketici olarak doğalarındaki doymak bilmez gereksinim ve arzularıdır. Her yıl yüzde 40 ile 50 arasında deflasyona "katlanmak" zorunda kalan yarı iletken endüstrisinin gelirleri yine de son yarım yüzyılda, yılda yüzde 17'lik artış göstermiştir.[88] Ekonomi gerçekte büyüdüğü için, kuramsal olarak deflasyonu akla getiren bu sonucun kaygıya yol açmaması gerekir.

1990'lar ile 2000'lerin başları, tarihin en etkili deflasyonlarına tanık oldu; bu da neden önemli bir enflasyon görmediğimizi açıklar. Düşük işsizlik oranı, yüksek varlık değerleri, ekonomik büyüme ve diğer bazı etmenlerin enflasyona neden olduğu kuşkusuz tarihsel olarak doğrudur. Ancak bu etmenler bilgiye dayalı tüm teknolojilerin fiyat performansındaki üstel eğilimlerle dengelenir. Bilgi işlem, bellek, iletişim, biyoteknoloji, minyatürleştirme, hatta teknik sürecin genel hızı bu üstel eğilimler arasında sayılabilir. Söz konusu teknolojiler tüm endüstrileri derinden etkilemektedir. Ayrıca, ağ ve diğer yeni iletişim teknolojileri sayesinde, dağıtım kanallarında aracıları büyük oranda ortadan kaldırmanın yanı sıra, işlem ve yönetim gücünün verimliliğini de artırıyoruz.

Bilgi endüstrisinin ekonominin tüm sektörlerinde artarak daha etkili olmasıyla, BT endüstrisinin sıra dışı deflasyon oranlarının artan etkisine de tanık oluyoruz. 1930'lardaki Büyük Buhran döneminde deflasyon, tüketicinin güveninde ve para arzında ortaya çıkan çöküş sonucunda yaşanmıştı. Bugünün deflasyonu ise, hızla yükselen üretkenlik ve tüm biçimleriyle bilginin artan yaygınlığının neden olduğu tamamen farklı bir olgudur.

İlk bölümde verilen teknoloji eğilim şemalarının tümü büyük deflasyonları göstermektedir. Yükselen bu verimliliklerin etkilerine verilebilecek çok örnek vardır. BP Amoco'nun varil başına petrol çıkarma maliyeti 1991'de yaklaşık on dolarken, artık bir dolara kadar inmiştir. İnternet üzerinden işlem yapmanın bir bankaya maliyeti bir peni iken, on yıl önce işlemi vezneden yapmanın maliyeti bir dolardan fazlaydı.

---

88 George M. Scalise, Yarı İletken Endüstrisi Derneği, "Luncheon Address: The Industry Perspective on Semiconductors," *2004 Productivity and Cyclicality in Semiconductors: Trends, Implications, and Questions—Report of a Symposium* (2004) içinde (Ulusal Akademiler Yayınları, 2004), s. 40, http://www.nap.edu/openbook/0309092744/html/index.html.

Burada, nano teknolojinin önemli sonuçlarından birinin de nano teknolojinin yazılım ekonomisini donanıma, yani fiziksel ürünlere taşıması olacağını vurgulamalıyız. Yazılım fiyatları donanım fiyatlarından daha hızlı düşmektedir (*bkz.* aşağıdaki tablo).

Yazılım Fiyat Performansının Üstel Gelişimi[89]
Örnek: Otomatik Konuşma Tanıma Yazılımı

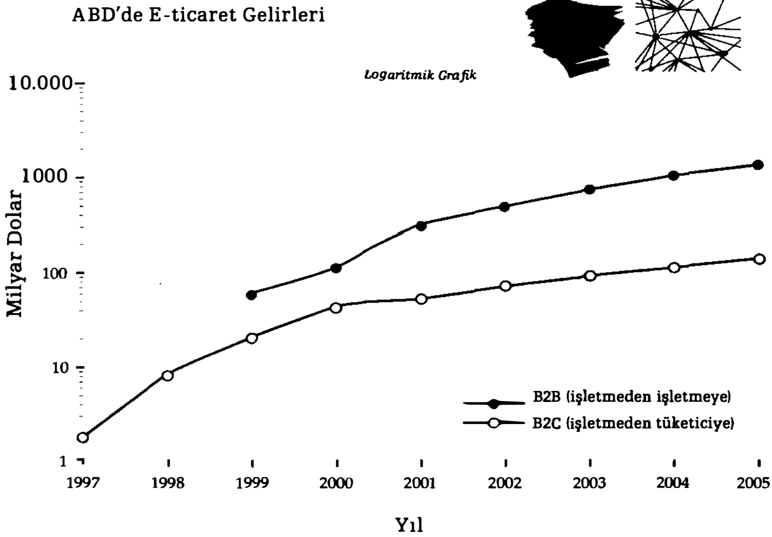
	1985	1995	2000
Fiyat	5.000$	500$	50$
Sözcük dağarcığı (sözcük sayısı)	1000	10.000	100.000
Konuşma sürekliliği?	Hayır	Hayır	Evet
Kullanıcı eğitim süresi (dakika)	180	60	5
Doğruluk oranı	Zayıf	Orta	İyi

Dağıtık ve zeki iletişimin etkisi belki de en yoğun olarak iş dünyasında hissedilmiştir. Wall Street'de yaşanan duygu çalkantılarına karşın, 1990'larda yaşanan patlama döneminde e-şirket olarak tanımlanan şirketlere yüklenen olağanüstü değerler geçerli bir algıyı yansıtmaktaydı: Yıllardır uygulanan iş modelleri, radikal bir dönüşümün ilk evrelerini yaşamaktadır. Müşteriyle doğrudan kişiselleştirilmiş iletişime dayanan yeni modeller, her endüstriyi dönüştürecek, bunun sonucunda ise geleneksel düzende var olan, müşteri ile ürün ve hizmetlerin son kaynağı arasındaki kademelerin aracılığını ortadan kaldıracaktır. Ama bütün devrimlerin bir hızı vardır. Bu alandaki yatırımların ve menkul değerler borsasının değerlemeleri, ekonomik S eğrisinin başlangıç evrelerinin çok ilerisine uzanmıştır.

Bu bilgi teknolojilerinde görülen sert konjonktür dalgalanmaları, tam anlamıyla bir sermaye piyasaları (hisse değeri) olgusuydu. Gerçekleşen işten müşteriye (B2C) ve işten işe (B2B) verilerinde (*bkz.* izleyen sayfadaki grafik), ne sert yükselişler ne de sert düşüşler belirgindir. B2C gelirleri düzgün bir gelişmeyle 1997'de 1,8

89 Kurzweil Applied Intelligence'den alınan veri. Kurzweil Applied Intelligence, bugün ScanSoft'un (eski Kurzweil Computer Products) bir bölümüdür.

milyar dolardan 2002'de 70 milyar dolara yükselmiştir.[90] 2004'te ise 1 trilyon dolara yaklaşmaktadır. Yukarıda kapsamlı biçimde irdelediğim gibi, temeli oluşturan teknolojilerin gerçek fiyat performansında, iş döngülerinin izini tabii ki görmeyiz.



Bilgiye erişimin yaygınlaşması, güç ilişkilerini de değiştirmektedir. Artık daha fazla sayıda hasta, doktor muayenelerine sağlık durumları ve seçeneklerini bilerek gidiyor. Ekmek kızartma makinelerinden, arabalardan, konutlardan, bankacılık ve sigortacılığa kadar hemen her alanın tüketicileri otomatik yazılım aracılarını kullanarak en uygun özellik ve fiyatlarla doğru seçimi çabucak yapabiliyorlar. eBay gibi ağ hizmetleri, alıcılarla satıcıları eşi görülmemiş yöntemlerle bir araya getiriveriyor.

90 eMarketer, "E-Business in 2003: How the Internet Is Transforming Companies, Industries, and the Economy—a Review in Numhers," Şubat 2003; "US B2C E-Commerce to Top $90 Billion in 2003," 30 Nisan 2003, http://www. emarketer.com/Article.aspx?1002207; ve "Worldwide B2B E-Commerce to Surpass $1 Trillion By Year's End," 19 Mart 2003, http://www. emarketer. com/Article.aspx?1002125.

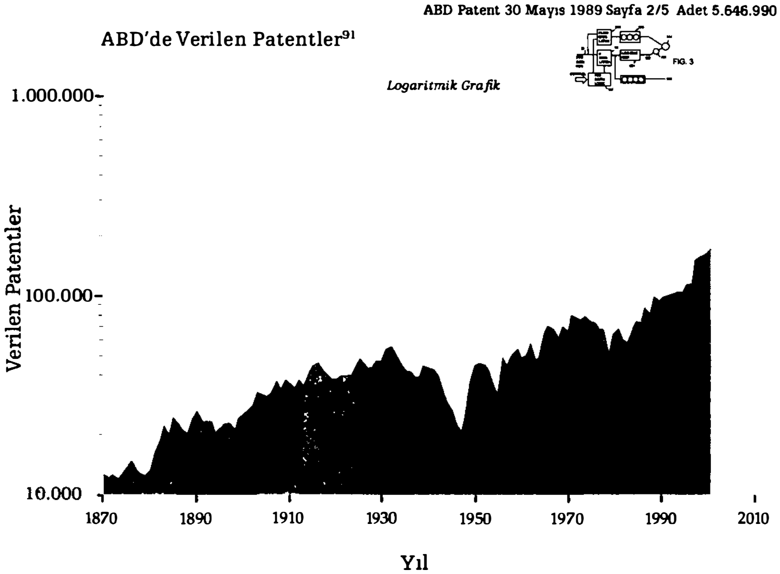
Müşterilerin, çoğu zaman kendilerinin bile farkında olmadıkları istek ve arzuları, hızla iş ilişkilerinin itici gücüne dönüşüyor. Piyasada olan biteni yakından bilen müşteriler artık, örneğin semt dükkânlarının raflarında kalan ürünlerle yetinmeyecekler. Bunun yerine, farklı olası birleşimlerin kendi bedenlerinin (ayrıntılı beden taramaya dayanan) üç boyutlu görüntüsü üzerinde nasıl durduğuna bakarak doğru ürün ve tarzları seçecekler, seçimlerini özel olarak hazırlatabilecekler.

Ağ tabanlı ticaretin bugünkü dezavantajları (örneğin, ürünlerle sınırlı doğrudan etkileşim, insan personel yerine esnekliği olmayan menülerle, formlarla uğraşmanın getirdiği sinir bozukluğu), eğilimler elektronik dünyadan yana güçlendikçe yavaş yavaş ortadan kalkacak. Bulunduğumuz on yılın sonuna gelindiğinde bilgisayarlar bağımsız fiziksel nesneler olmaktan çıkacak, ekranlar gözlüklerimize yerleştirilmiş, elektronik parçalar giysilerimize örülmüş olarak görsel sanal gerçekliğin içine tam olarak girmemizi sağlayacaktır. Böylelikle, "bir web sitesini ziyaret etmek," hem gerçek hem de simüle edilmiş ürünlerle ve insanlarla doğrudan etkileşime girebileceğimiz, en azından görme ve işitme duyularıyla, bir sanal gerçeklik ortamına girmek anlamına gelecektir. Simüle edilen insanlar, en azından 2009 yılında insani standartlara gelmiş olmasalar bile, satış temsilcileri, rezervasyon elemanları, araştırma asistanları olarak oldukça tatmin edici olabileceklerdir. Dokunsal arabirimler, insanlara ve ürünlere dokunabilmemizi sağlayacak. Bildik fiziksel mağazalardan oluşan dünyanın avantajları arasında, yakında ortaya çıkacak zengin etkileşimli arabirimlere yenik düşmeyecek, kalıcı bir avantaj tanımlamak zordur.

Bu gelişmelerin gayrimenkul endüstrisinde önemli sonuçları olacak, çalışanları işyerlerinde buluşturma gereksinimi giderek ortadan kalkacak. Kendi şirketlerimde edindiğim deneyimler ışığında, daha şimdiden farklı coğrafyalarda yer alan ekipleri etkin biçimde örgütleyebildiğimizi rahatlıkla söyleyebilirim. Bu, on yıl önce çok zor bir girişimdi. Bu yüzyılın ikinci on yılında yaygınlaşacak, içine girilebilen görsel–işitsel sanal gerçeklik ortamları, insanların istedikleri herhangi bir yerde yaşama ve çalışma eğilimlerini güçlendirecektir. 2020'lerin sonunda uygulanabilecek, içine girilebilen görsel–işitsel sanal gerçeklik ortamlarının tüm

bu duyuları birleştirmesiyle, artık fiziksel işyeri kullanımına gerek kalmayacaktır. Emlak, sanal olacaktır.

Sun Tzu'nun işaret ettiği gibi, "bilgi güçtür." İvmelenen getiriler yasasının getireceği sonuçlardan biri de, fikri mülkiyet dahil insan bilgisinin üstel büyümesidir.



Bunların hiçbiri, durgunluk dönemlerinin birden ortadan kalkıvereceği anlamına gelmez. Bu kitabın yazıldığı sırada da ülke, ekonomik yavaşlamaya, teknoloji sektöründe durgunluğa ve ardından gelen kademeli iyileşmeye tanık olmaktadır. Ekonomi, hâlâ geçmişteki durgunluk dönemlerine neden olan birtakım dinamiklerin (sermaye yoğun projelere yapılan aşırı yatırımlar gibi aşırı taahhütler ve mal stoku yığılması gibi) yükünü taşımaktadır. Yine de, tüm endüstrilerde bilginin hızla yayılması, gelişmiş çevrimiçi tedarik biçimleriyle giderek daha şeffaflaşan pazarlar bu dön-

91 Bu grafikte kullanılan patentler, ABD Patent ve Marka Bürosunca tanımlandığı biçimiyle, "icat patentleri," diğer bilinen adıyla "yarar" patentleridir. ABD Patent ve Marka Bürosu, Yıllık Amerikan Patent Faaliyetleri Tablosu, http://www.uspto.gov/web/offices/ac/ido/oeip/taf/h_counts.htm.

günün etkisini azalttığından, "durgunluk dönemlerinin" standart yaşamımıza doğrudan etkisi daha az olacak gibi görünmektedir. Anlaşılan, 1991–1993 arasında yaşadığımız küçük durgunluk döneminde ve daha yakınlarda, 2000'lerin başlarında yaşanan durgunluk döneminde söz konusu olan durum buydu. Temelde yatan uzun vadeli büyüme üstel bir hızla sürecektir.

Ayrıca, ekonomik dalgalanmaların neden olduğu küçük sapmaların, yenilik ve paradigma değişimi hızı üzerinde belirgin bir etkisi görülmemektedir. Yukarıdaki grafiklerde, üstel büyüme gösteren teknolojilerin hepsinin yakın dönemlerdeki ekonomik durgunluklarda gelişme hızlarını yitirmeden varlıklarını sürdürdükleri görülmektedirler. Piyasada benimsenme düzeyleri de sert iniş ya da çıkış belirtisi göstermez.

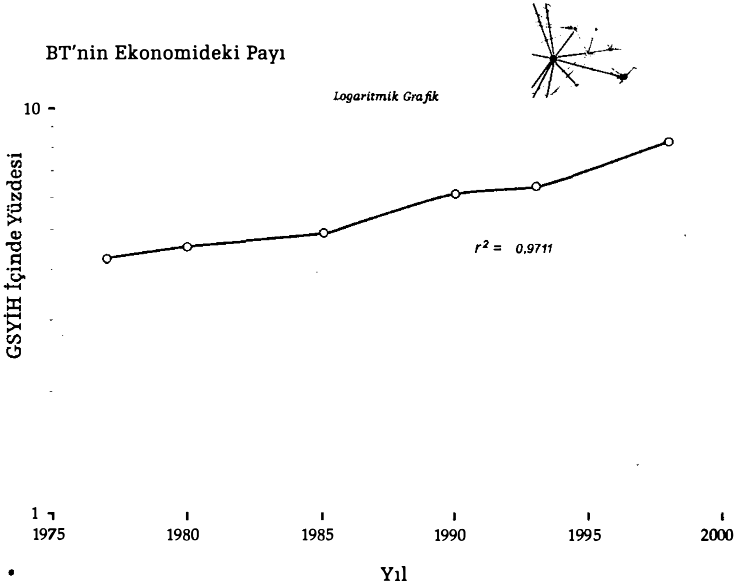
Ekonomi genelinde görülen büyüme, daha önce var olmayan ya da en azından nanoparçacıklara dayalı malzeme, genetik bilgi, fikri mülkiyet, iletişim portalları, web siteleri, bant genişliği, yazılım, veri tabanları ile yeni teknolojiye dayalı diğer birçok kategori gibi daha önceden ekonominin önemli bir bölümünü oluşturmayan, yepyeni varsıllık ve değer biçimlerini ve katmanlarını yansıtmaktadır.

Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, bilgi teknolojileri sektörü genel olarak ekonomideki payını hızla artırmakta ve diğer sektörler üzerinde giderek daha fazla etkili olmaktadır.[92]

İvmelenen getiriler yasasının akla getirdiği bir diğer sonuç da eğitim ve öğretimde görülen üstel büyümedir. Son 120 yılda, K12 eğitimine yaptığımız yatırımları (öğrenci başına düşen değişmez dolar cinsinden) on kat artırdık. Üniversiteye giden öğrenci sayısındaysa yüz kat artış oldu. Otomasyon, kaslarımızın gücünün artırılmasıyla başladı, son zamanlarda ise aklımızın gücünün artırılmasıyla sürmekte. Böylece son iki yüz yıldaki otomasyon, nitelik merdiveninin en altındaki işleri ortadan kaldırırken, merdivenin üst kısmında yeni (ve daha kazançlı) işler yaratmıştır. Merdiven yükselmekte, dolayısıyla biz de eğitime yaptığımız ya-

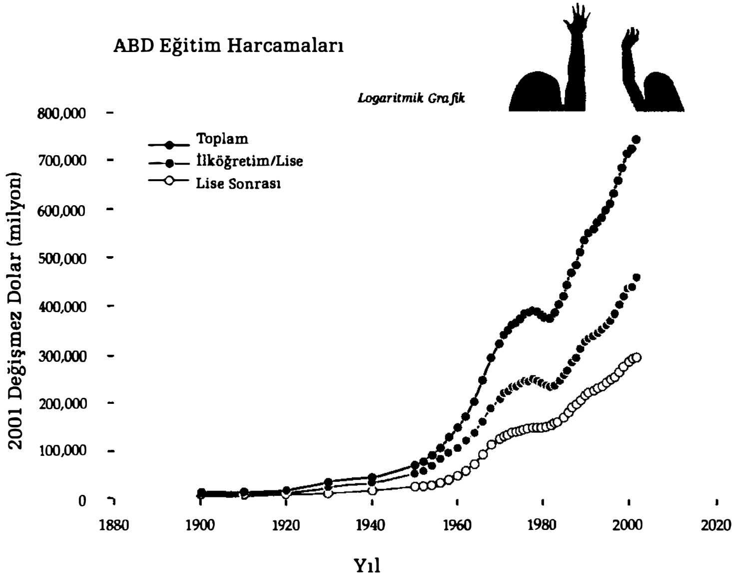
92 Bilgi teknolojilerinin ekonomideki payının ikiye katlanma süresi yirmi üç yıldır. ABD Ticaret Bakanlığı, Ekonomi ve İstatistik İdaresi, "The Emerging Digital Economy," şekil 2, http://www.technology.gov/digeconomy/emerging.htm.

tırımları her düzeyde üstel olarak artırmaktayız (*bkz.* aşağıdaki şekil).[93]



Unutmadan; yukarıda yapılan "teklife" gelince, geçerli hisse değerlerinin geleceğe ait beklentiler üzerine kurulmuş olduğunu düşünün. Kısa görüşlü (gerçek anlamıyla) doğrusal sezgisel bakışın yaygın bakışı temsil ettiğinden yola çıkarsak, ekonomik beklentilerdeki ortak akıl olduğundan çarpıcı biçimde düşük gösterilmektedir. Hisse senedi fiyatları, bir alıcı–satıcı piyasasındaki uzlaşmayı yansıttığına göre, bu fiyatlar çoğu insanın geleceğin ekonomik büyümesine ilişkin ortak görüşünün temelinde yatan doğrusal varsayımları yansıtmaktadır. İvmelenen getiriler yasası yine de üstel olarak büyümeye devam edecektir, çünkü ilerlemenin hızı ivme kazanmayı sürdürecektir.

93 ABD'de eğitim harcamalarının kişi başına ikiye katlanma süresi yirmi üç yıldır. Ulusal Eğitim İstatistik Merkezi, Eğitim İstatistikleri Özeti, 2002, http://nces.ed.gov/pubs2003/digest02/tables/dt030.asp.



Molly 2004: *Ama bir dakika, bölümün bu kısmını okuyup anlarsam seksen trilyon dolarım olabileceğini söylemiştin.*

Ray: *Doğru. Benim modellerime göre, eğer doğrusal görünümü daha uygun olan üstel görünümle değiştirirsek, var olan hisse fiyatları üçe katlanacaktır.*[94] *Sermaye piyasalarında (tutucu bir hesapla) kırk trilyon dolar olduğuna göre bu seksen trilyon ek servet demektir.*

Molly 2004: *Ama bu paranın benim olacağını söyledin.*

Ray: *Hayır, ben bu parayı "elde edebilirsiniz" dedim, bunun için de tümcenin dikkatli okunmasını önerdim. İngilizcede*

---

94 Birleşmiş Milletler, 2000 yılında toplam küresel sermaye piyasası hacmini otuz yedi trilyon dolar olarak hesaplamıştır. Birleşmiş Milletler, "Global Finance Profile," *Report of the High-Level Panel of Financing for Development*, Haziran 2001, http://www.un.org/reports/financing/profile.htm.
Geleceğe ait büyüme hızı anlayışımız (bugünkü beklentilerimize kıyasla) yüzde 2 gibi düşük bir yıllık bileşik hızla artarsa ve (geleceğin değerlerini bugünden düşürmek için) yıllık yüzde 6'lık bir azalma uygularsak, yalnızca yirmi yıllık bir gelecekteki bileşik ve indirilmiş (ek) büyümenin getireceği mevcut artırılmış değerin, bugün var olan değerleri üçe katlaması gerektiğini gösterir. Bunu izleyen konuşmanın işaret ettiği gibi bu çözümleme, geleceğin büyüme hızını artıran böylesine bir anlayıştan doğan indirim hızındaki olası artışı göz önüne almamaktadır.

tekil "sen" ile çoğul "siz" aynı sözcüktür. Ben, "siz hepiniz" anlamında kullandım.

Molly 2004: *Hmm, bu biraz can sıkıcı. Yani dünyada yaşayan hepimizi kastediyorsun? Ama bu kitabı herkes okumayacak.*

Ray: *Evet ama herkes okuyabilir. Böylece eğer bu kitabı hepiniz okur ve anlarsanız, o zaman ekonomik beklentiler tarihsel üstel model üzerine kurulur, hisse değerleri de buna göre artar.*

Molly 2004: *Eğer herkes kitabı anlar, aynı düşünceyi paylaşırsa demek istiyorsun. Yani piyasa beklentilere dayanıyor, değil mi?*

Ray: *Peki, diyelim ki bunu varsaydım.*

Molly 2004: *Öyleyse olmasını beklediğin şey bu mu?*

Ray: *Aslında, hayır. Yine fütürist şapkamı giyersem, tahminim üstel büyüme hakkındaki bu görüşlerin sonunda gerçekten etkili olacağıdır; ama bu, teknolojinin üstel doğasının kanıtları ve ekonomi üzerindeki etkileri belirginleştikçe, zaman içinde olacaktır. Yavaş yavaş, uzun dönemde piyasalarda sağlam bir tırmanışı getirecek olan önümüzdeki on yılda olacaktır.*

George 2048: *Bilmiyorum Ray. Bilgi teknolojilerinin tüm biçimlerinde fiyat performansının üstel hızla arttığını, büyümesini de yine üstel olarak sürdürdüğünü söylerken haklıydın. Ekonomi gerçekten de üstel olarak büyümesini sürdürdü; böylece çok yüksek bir deflasyon oranının üstesinden gelmekten fazlasını başardı. Sonuçta görünen de genelde halkın tüm bu eğilimleri yakaladığıdır. Ama bunun gerçekleşmesi borsa üzerinde senin tanımladığın olumlu etkiyi yapmadı. Borsa ekonomiyle birlikte yükseldi yükselmesine, ama daha yüksek büyüme hızının hisse senedi fiyatlarının artışına etkisi az oldu.*

Ray: *Neden böyle oldu dersin?*

George 2048: *Çünkü denklemine koymadığın bir şey var. Her ne kadar insanlar hisse senedi değerlerinin hızla artacağını anladılarsa da, anladıkları bu şey aynı zamanda iskonto oranında da artışı getirdi (gelecekte değerlerin bugünkü değerini hesaplamak için uygulamamız gereken iskonto oranı). Bir düşünün. Hisse senetlerinin gelecekteki bir dönemde büyük ölçüde yükseleceğini biliyorsak, o zaman*

gelecekte bu kazançları elde edebilmek için hisselere bugünden sahip olmak isteriz. Böylece geleceğin artmış hisse değerlerinin bilinmesi iskonto oranının da artışına neden olur. Bu da gelecekte daha yüksek değerlerin elde edilmesi beklentisini boşa çıkarır.

Molly 2104: *I–ıh, George, bu da tam doğru değil. Söylediğin mantık olarak doğru geliyor, ama psikolojik olarak, geleceğin artmış değerleriyle yükselen algının hisse fiyatlarına olumlu etkisi, iskonto oranlarındaki atışların olumsuz etkisinden daha fazla oldu. Böylece, hem teknolojinin fiyat performansında hem de ekonomik faaliyetin hızındaki üstel büyümenin benimsenmesi, hisse senedi piyasalarında bir yükselişi sağladı, ama George'un anlattığı etki yüzünden, Ray, senin söylediğin üçe katlanmayı getirmedi.*

Molly 2004: *Peki, sorduğuma pişman oldum. Sanırım sahip olduğum hisse senetlerinden sadece birkaçını elimde tutup üzerinde düşünmeyeceğim.*

Ray: *Nereye yatırım yaptın?*

Molly 2004: *Bakayım, Google'la boy ölçüşebileceğini uman şu doğal dil tabanlı arama motoru var. Sonra bir yakıt hücresi şirketine yatırım yaptım. Bir de kan dolaşımında gidebilen algılayıcılar yapan bir şirket.*

Ray: *Oldukça yüksek riskli, yüksek teknoloji portföyüne benziyor.*

Molly 2004: *Buna portföy demem. Yalnızca sözünü ettiğin teknolojilerle ilgileniyorum.*

Ray: *Peki, ama şunu unutma; ivmelenen getiriler yasasının öngördüğü eğilimler son derece düzgün olmakla birlikte, bu, hangi rakiplerin varlıklarını sürdüreceklerini önceden bilebileceğimiz anlamına gelmez.*

Molly 2004: *Doğru, ben de onun için hisseler arasında dağıtıyorum.*

Üçüncü Bölüm

İNSAN BEYNİNİN BİLGİ İŞLEM KAPASİTESİNİN KULLANILMASI

Engines of Creation [*Yaratma Motorları*] adlı kitabımda irdelediğim gibi, eğer gerçek bir yapay zekâ yapmayı başarmışsanız, bir milyon kat daha hızlı nöronlar gibi şeyleri de yapabileceğinize inanmak için nedeniniz vardır. Buradan da, insandan bir milyon kat daha hızlı düşünebilen sistemler yapabileceğiniz sonucunu çıkarabiliriz. Yapay zekâ kullanan bu sistemler mühendislik projeleri hazırlayabilirler. Bu beceriyi, bir sistemin kendinden daha iyi bir şeyi yapabilme yeteneğiyle birleştirdiğinizde, çok ani bir geçişi mümkün kılarsınız. Bu süreçle uğraşmak nano teknolojiyle uğraşmaktan bile zor olabilir, ancak bu noktada, üzerinde yapıcı biçimde düşünmek çok daha zordur. Aynı nedenle, düzenli olarak buna işaret edip "bu da önemlidir" dememe karşın, irdelediğim konuların odağında yer almamıştır.

—Eric Drexler, 1989

Bilgi İşlem Teknolojisinin Altıncı Paradigması: Üç Boyutlu Moleküler Bilgi İşlem ve Yeni Gelişen Bilgi İşlem Teknolojileri

Electronics dergisinin 19 Nisan 1965 tarihli sayısında Gordon Moore şöyle yazmıştır: "Tümleşik elektroniğin geleceği, elektroni-

ğin geleceğinin ta kendisidir. Tümleştirmenin getirdiği avantajlar, elektroniğin çoğalmasına yol açacak, bilimi birçok yeni alana yönelmeye itecektir."[1] Moore bu alçakgönüllü sözleriyle hâlâ hızlanmakta olan bir devrime öncülük etmiştir. Moore okurlara bu yeni bilimin enginliği hakkında bir fikir verebilmek için "1975 yılına gelindiğinde ekonomi, tek bir silikon çip üzerine 65.000 bileşenin sıkıştırılmasını gerektirecektir," öngörüsünde bulunmuştur. Bir düşünün.

Moore'un yazısı, tümleşik bir devre üzerine sığdırılabilecek (bilgi işlem ögeleri ya da geçitler için kullanılan) transistör sayısının, yinelenerek her yıl ikiye katlanmasını anlatıyordu. 1965 yılında ortaya koyduğu "Moore Yasası" öngörüsü, yani bir çipin üzerindeki bileşen sayısını belirtmek için kullandığı logaritmik şema yalnızca (1959'dan 1965'in sonuna kadar) beş referans noktası içerdiği için, ortaya yeni çıkan bu eğilimi 1975'e kadar yansıtmasının zamansız olduğu düşüncesiyle eleştirilmişti. Moore'un ilk tahmini doğru değildi, bir on yıl sonra, bu tahminindeki değerleri azaltarak değiştirdi. Ancak temel düşünce –tümleşik bir devre üzerindeki transistörlerin boyutunun küçültülmesine dayalı olarak elektroniğin fiyat performansında üstel büyüme– hem geçerli hem de ileri görüşlü bir düşünceydi.[2]

Bugün, binlerce bileşen yerine milyarlarca bileşenden söz ediyoruz. 2004 yılının en gelişmiş çiplerindeki mantık geçitleri yalnızca elli nanometre genişliğindedir; (yüz nanometre ya da altı ölçümleri ele alan) nano teknoloji alanındaki yerlerini çoktan aldılar. Moore Yasasının geçerliliğini yitirdiğine ilişkin sürekli yeni tahminler yapılmasına karşın, bu kayda değer paradigma zaman içinde hep daha ileri atılmaktadır. Intel'in teknoloji stratejisi bölüm direktörü ve Uluslararası Yarı İletken Teknolojisi Yol Haritasının

1 Gordon E. Moore, "Cramming More Components onto Integrated Circuits," *Electronics* 38.8 (19 Nisan 1965): 114–117, ftp://download.intel.com/research/silicon/moorespaper.pdf.

2 Moore'un 1965 tarihli bu bildirisinde ortaya koyduğu öngörü, bileşen sayısının her yıl ikiye katlanacağıydı. 1975'te bu öngörüsünü her iki yılda bir olarak değiştirdi. Ancak küçük bileşenler daha hızlı çalıştığından (çünkü elektroniğin kat etmesi gereken uzaklık daha kısadır) bu, fiyat performansını her iki yılda bir ikiden fazla kez katlar. Böylelikle genel olarak fiyat performansı (her transistör çevriminin maliyeti), her on üç ayda bir yarıya iner.

(ITRS) başkanı Paolo Gargini, yakın geçmişte şöyle demiştir: "En azından önümüzdeki 15–20 yılda Moore Yasasında kalmayı sürdürebileceğimiz görülüyor. Gerçekten de, ... nano teknoloji bize, bir levha üzerinde yer alan bileşenlerin sayısını geliştirmeyi sürdürmemizi sağlamak için, açabileceğimiz birçok yeni geçit sunuyor."[3]

Bilgi işlemin kazandığı ivme, kitabın ileriki bölümlerinde ortaya koyacağım gibi, toplumsal ve ekonomik ilişkilerden siyasi kurumlara kadar her şeyi dönüştürdü. Ama Moore yazılarında, küçülen özellik boyutları stratejisinin, gerçekte bilgi işlemle iletişimde üstel büyümeyi sağlayacak ilk paradigma olmadığına işaret etmemiştir. Bu, beşinci paradigmaydı, bunu izleyecek olanın ana hatları da şimdiden görülebiliyor: Moleküler düzeyde ve üç boyutlu bilgi işlem. Beşinci paradigma için henüz önümüzde on yıldan fazla bir süre olmasına karşın, altıncı paradigma için gereken teknolojilerin tümünde zorlayıcı bir ilerleme çoktan oluştu. Sonraki bölümde insan zekâsının düzeyine erişebilmek için gereken bilgi işlem ve bellek miktarının ve bu düzeylerin önümüzdeki yirmi yıl içinde pahalı olmayan bilgisayarlarda elde edileceğinden niçin emin olabileceğimizin çözümlemesini vereceğim. Çok güçlü olacak bu bilgisayarlar bile en elverişli olmaktan çok uzak olacaklardır; bu bölümün son kısmında da bilgi işlemin sınırlarını, bugün anladığımız şekliyle fiziğin yasalarına göre gözden geçireceğim. Bu bizi, aşağı yukarı yirmi birinci yüzyılın sonlarında kullanılacak bilgisayarlara kadar götürecek.

Üç Boyutlu Moleküler Bilgi İşleme Uzanan Köprü. Ara adımlar şimdiden hazırlanıyor: Bizi, moleküler üç boyutlu bilgi işlemin olacağı altıncı paradigmaya götürecek yeni teknolojiler, nanotüpler ve nanotüp devreleri, moleküler bilgi işlem, nanotüp devrelerinde kendiliğinden birleşme, devrelerin düzenlerini taklit eden biyolojik sistemler, dönüş–tabanlı elektroniği (spintronik) kullanan bilgi işlem, DNA'yla bilgi işlem, ışıkla bilgi işlem ve kuantum kural-

3 Paolo Gargini'den alıntı: Ann Steffora Mutschler, "Moore's Law Here to Stay," ElectronicsWeekly.com, 14 Temmuz 2004, http://www.electronicsweekly.co.uk/articles/article.asp?liArticleID=36829. *Ayrıca bkz.* Tom Krazit, "Intel Prepares for Next 20 Years of Chip Making," *Computerworld*, 25 Ekim 2004, http://www.computerworld.com/hardwaretopics/ hardware/story/0,10801,96917,00.html.

larıyla bilgi işlemi içeriyor. Bu bağımsız teknolojilerin birçoğu, sonunda madde ve enerjinin kuramsal maksimum kapasitesine yaklaşıp, insan beyninin bilgi işleme hız kapasitesinin çok ilerisine geçecek bilgi işleme sistemleri olarak birleştirilebilir.

Yaklaşımlardan biri, "geleneksel" silikon litografi yöntemiyle üç boyutlu devreler oluşturmaktır. Matrix Semiconductor şirketi tek bir düz katman yerine dikey yığılı düzlem transistörleri içeren bellek çiplerini çoktan satmaya başlamıştır.[4] Tek bir 3B çip daha fazla bellek barındırabildiğinden ürünün toplam büyüklüğü küçülmekte, bu nedenle Matrix, öncelikle (elektrik bağlantısı kesildiğinde bilgi kaybı oluşmadığı için cep telefonları ve sayısal fotoğraf makinelerinde kullanılan) flaş bellekle rekabet edebilecek, taşınabilir elektroniği hedeflemektedir. Yığılı devre, ayrıca bit başına düşen maliyeti de toplamda düşürür. Diğer bir yaklaşım, flaş belleği icat eden, Toshiba'nın eski mühendislerinden, Matrix'in rakibi Fujio Masuoka'nun yöntemidir. Masuoka, yaptığı, silindire benzeyen yeni bellek tasarımının, belleğin boyutunu ve bit başına düşen maliyetini düz yapılı çiplere kıyasla on kat daha azalttığını savunmaktadır.[5] Üç boyutlu silikon çiplerin çalışan prototipleri, ayrıca Rensselaer Politeknik Enstitüsünün Giga Ölçekte Entegrasyon Merkezi ile MIT Medya Laboratuvarında da sergilenmiştir.

Tokyo'daki Nippon Telgraf ve Telefon Şirketi (NTT), elektron ışımalı litografi kullanarak (transistörler gibi) on nanometreye kadar küçültülmüş özellik boyutlarıyla duruma bağlı üç boyutlu yapılar oluşturabilen etkileyici bir 3B teknolojisini tanıttı.[6] NTT bu teknolojiyi Yerkürenin on nanometrelik özelliklere sahip, altmış mikron büyüklüğünde yüksek çözünürlüklü bir modeliyle gösterdi. NTT, teknolojinin yarı iletkenler gibi elektronik aygıtların nano üretiminde, ayrıca nano ölçekli mekanik sistemlerin üretiminde kullanılabileceğini belirtmektedir.

---

4 Michael Kanellos, " 'High–rise' Chips Sneak on Market," CNET News.com, 13 Temmuz 2004, http://zdnet.com.com/2100-1103-5267738.html.

5 Benjamin Fulford, "Chipmakers Are Running Out of Room: The Answer Might Lie in 3–D," Forbes.com, 22 Temmuz 2002, http://www.forbes.com/forbes/2002/0722/173_print.html.

6 NTT basın duyurusu, "Three–Dimensional Nanofabrication Using Electron Beam Lithography," 2 Şubat 2004, http://www.ntt.co.jp/news/news04e/0402/040202.html.

Nanotüpler Yine de En İyi Bahis. *The Age of Spiritual Machines*'de nanotüplerin –bellek bitlerini saklamak ve mantık geçitleri gibi davranmak için üç boyutlu olarak düzenlenmiş molekülleri kullanarak– bize üç boyutlu moleküler bilgi işlem çağının yolunu gösterecek en olası teknoloji olduğunu belirtmiştim. İlk kez 1991'de sentezlenen nanotüpler, ek yeri olmayan bir silindir oluşturacak biçimde yuvarlanmış karbon atomlarından oluşan, altıgen bir ağın oluşturduğu tüplerdir.[7] Nanotüpler çok küçüktür; bir duvarlı nanotüpler yalnızca bir nanometre çapındadır, böylece çok yüksek yoğunluklara ulaşabilirler.

Ayrıca çok hızlı devinim potansiyeline sahiptirler. Peter Burke ile Irvine'deki California Üniversitesindeki çalışma arkadaşları yakın bir zamanda, 2,5 gigahertz (GHz) hızla çalışan nanotüp devrelerini sergilediler. Ancak, Amerikan Kimyasal Üreticileri Birliğinin hakemli dergisi *Nano Letters*'da Burke, bu nanotüp transistörlerin kuramsal hız sınırının "modern bilgisayarların hızından yaklaşık 1000 kat daha hızlı olan terahertz [1 THz = 1000 GHz] olması gerektiğini" söylemektedir.[8] Bir inçküp nanotüp devresi tam olarak geliştirildiğinde, insan beyninden yüz milyon kez daha güçlü olacaktır.[9]

---

7 László Forró ve Christian Schönenberger, "Carbon Nanotubes, Materials for the Future," *Europhysics News* 32.3 (2001), http://www.europhysicsnews.com/full/09/article3/article3.html. Nanotüplere genel bir bakış için ayrıca *bkz.* http://www.research.ibm.com/nanoscience/nanotubes.html.

8 Michael Bernstein, Amerikan Kimyasal Üreticileri Birliği haber bülteni, "High-Speed Nanotube Transistors Could Lead to Better Cell Phones, Faster Computers," 27 Nisan 2004, http://www.eurekalert.org/pub_releases/2004-04/acs-nt042704.php.

9 Bir nanotüp tabanlı transistör ile onu destekleyen devreler ve bağlantıların ortalama on nanometreküp (transistörün kendisi bunun kesri olacaktır) ya da 10^3 nanometreküp gerektirdiğini tahmin ediyorum. Tek duvarlı nanotüplerin çapları yalnızca bir nanometre olduğuna göre bu, tutucu bir tahmindir. Bir inç = 2,54 santimetre = 2,54 x 10^7 nanometre. Böylelikle, 1 inçküp = $2{,}54^3$ x 10^{21} = 1,6 x 10^{22} nanometreküptür. Yani, bir inçküp, 1,6 x 10^{19} transistör alabilir. Her bilgisayar için 10^7 transistör gerektiğine göre (bu transistörler, insanın nöronlarının arasındaki bağlantılardaki hesaplamaları oluşturandan çok daha karmaşık bir aygıttır), yaklaşık 10^{12} (bir trilyon) paralel bilgisayarı destekleyebiliriz.

Saniyede 10^{12} işlem yapabilen bir nanotüp transistör tabanlı bilgisayar (Burke'ün hesabına göre) bize bir inçküplük nanotüp devresi için 10^{24} cps'lik bir hız hesabı verir. *Ayrıca bkz.* Bernstein, "High-Speed Nanotube Transistors."

1999'da ele aldığımda nanotüp devreleri tartışmalı bir konuydu; ancak aradan geçen altı yıl içinde önemli gelişmeler kaydedildi. 2001'de iki büyük adım atıldı. *Science* dergisinin 6 Temmuz 2001 tarihli sayısında, oda sıcaklığında çalışıp, açık/kapalı konumları arasında geçiş için yalnızca bir elektron kullanan, bir nanotüp tabanlı (bire yirmi nanometre boyutlarında) transistörün haberi verildi.[10] Aynı sıralarda IBM de bin nanotüp tabanlı transistörle oluşturulmuş bir tümleşik devreyi tanıttı.[11]

Daha yakınlarda ise nanotüp tabanlı devrelerin ilk çalışan modellerini gördük. Ocak 2004'te, Berkeley'deki California Üniversitesi ile Stanford Üniversitesinden araştırmacılar nanotüplere dayanan bir tümleşik bellek devresi ürettiler.[12] Bu teknolojinin

---

İnsan beyninin işlevinin taklit edilebilmesi için 10^{16} cps'lik bir tahminle (*bkz.* bu bölümün ilerleyen sayfalarındaki tartışmalar), yaklaşık 100 milyon (10^{8}) insan beyninin eşdeğerini elde ederiz. Eğer nöromorfik simülasyon için gereken daha tutucu 10^{19} cps'lik tahmini kullanırsak (her nöron bileşenindeki her doğrusalsızlığı simüle edersek; *bkz.* bu bölümdeki izleyen tartışma), bir inçküplük nanotüp devresi yalnızca yüz bin insan beyninin eşdeğerini verir.

10 "Nanotüp içinden elektronik iletimini daha dört yıl önce ilk kez ölçtük. Bugünse tek moleküllü aygıtlar üzerinde yapılabilecek ve yapılamayacakları araştırıyoruz. Bundan sonraki adım bu ögelerin karmaşık devreler olarak nasıl birleştirilebileceğini düşünmek olacaktır," diyor makale yazarlarından Cees Dekker; *bkz.* Henk W. Ch. Postma vd,"Carbon Nanotube Single–Electron Transistors at Room Temperature," *Science* 293.5527 (6 Temmuz 2001): 76--129, Amerikan Bilim Geliştirme Derneği haber bülteninde betimlenmiştir: "Nano–transistor Switches with Just One Electron May Be Ideal for Molecular Computers, Science Study Shows," http://www.eurekalert.org/pub_releases/2001-07/aaft-nsw062901.php.

11 IBM'in araştırmacıları, nanotüp üretimindeki bir sorunu çözmüşlerdir. Tüplerin yapılması için karbon isi ısıtıldığında, transistörler için uygun olan yarı iletken tüplerin yanı sıra çok sayıda kullanılamaz metal tüpler de oluşmaktadır. Araştırma ekibi, iki tipteki nanotüpleri de devreye yerleştirerek, istenmeyen tüpleri parçalamak için elektrik titreşimleri kullandılar; bu, istenen tüplerin bir atomsal kuvvet mikroskobuyla tek tek seçilmesinden daha verimli bir yaklaşımdır. Mark K. Anderson, "Mega Steps Toward the Nanochip," *Wired News*, 27 Nisan 2001, http://www.wired.com/news/technology/0,1282,43324,00.html adresinde, Philip G. Collins, Michael S. Arnold ve Phaedon Avouris, "Engineering Carbon Nanotubes and Nanotube Circuits Using Electrical Breakdown," *Science* 292.5517 (27 Nisan 2001): 706--709'a atıf.

12 "Atom düzeyinde incelendiğinde rulo halinde kümes teline benzeyen bir karbon nanotüp, insanın saç telinden on binlerce kez daha ince ama olağanüstü güçlüdür." Berkeley California Üniversitesi basın bülteni, "Researchers Create First Ever Integrated Silicon Circuit with Nanotube Transistors," 5 Ocak

kullanımının zorlayıcı yanlarından biri, bazı tüpler iletken iken (yani elektriği iletirken), diğerlerinin yarı iletken gibi davranmalarıdır (yani anahtarlama yeteneğiyle mantık geçitleri uygulayabilmeleridir). Yeteneklerindeki farklılık, ince yapısal özelliklere dayanır. Yakın zamana kadar bunların ayıklanması manüel işlem gerektiriyordu; bu da büyük ölçekli devrelerin yapımı için pratik bir yöntem değildi. Berkeley ve Stanford'lu bilim insanları bu konuyu yarı iletken olmayan nanotüpleri ayıklayıp çıkaran tam otomatik bir yöntem geliştirerek ele aldılar.

Nanotüplerin sıralanması, her yöne doğru büyüme eğilimi gösteren nanotüp devrelerinde karşılaşılan bir diğer zorluktur. 2001'de IBM araştırmacıları, nanotüp transistörlerin, silikon transistörler gibi yığınlar halinde büyütülebileceklerini ortaya koydular. Bunun için, elle düzenlemek yerine, kusurlu nanotüpleri daha yonga plakası üzerindeyken yok eden, "yapıcı yıkım" adını verdikleri bir yöntem kullandılar. IBM'in Thomas J. Watson Araştırma Merkezinde fizik bilimleri direktörü Thomas Theis, o tarihte, "Şimdi IBM'in moleküler ölçekte çipe giden yolda önemli bir dönüm noktasını aşmış olduğuna inanıyoruz... Sonunda başarılı olursak, karbon tüpler Moore Yasasını yoğunluk açısından süresiz olarak koruyabilmemizi sağlayacak; çünkü bunların gelecekteki herhangi bir silikon transistörden daha küçük yapılabileceği konusunda hemen hemen hiç kuşkum yok," dedi.[13] Woburn, Massachusetts'te, Harvard Üniversitesi araştırmacılarından Thomas Rueckes ve ortakları tarafından kurulmuş küçük bir şirket olan Nantero, Mayıs 2003'te, tek çiplik yonga plakası üzerinde, hepsi de doğru yönde sıralanmış on milyar nanotüp bağlantısını göstererek süreci bir adım ileriye taşıdı. Nantero teknolojisi, hatalı sıralanmış nanotüpleri yerlerinden otomatik olarak çıkarmak için standart litografi gereçlerini kullanmakta. Nantero'nun standart gereçler kullanması, pahalı yeni üretim makineleri gerektirmeyen

2004, http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2004/01/05_nano.shtml, Yu-Chih Tseng vd, "Monolithic Integration of Carbon Nanotube Devices with Silicon MOS Technology," *Nano Letters* 4.1 (2004): 123-127, http://pubs.acs. org/cgi-bin/sample.cgi/nalefd/2004/4/i01/pdf/nl0349707.pdf.

13 R. Colin Johnson, "IBM Nanotubes May Enable Molecular-Scale Chips," *EETimes*, 26 Nisan 2001, http://eetimes.com/article/showArticle.jhtml?articleId=10807704.

bir teknoloji olduğu için birçok gözlemciyi heyecanlandırmıştır. Nantero'nun tasarımı rastgele erişim sağladığı gibi, kalıcılık da sağlamaktadır (kapalı olduğu zaman veriler korunur). Bu, tasarımın başlıca tüm bellek biçimlerinin (RAM, flaş ve disk bellek) yerine geçebilecek bir potansiyele sahip olması demektir.

Moleküllerle Bilgi İşlem. Nanotüplerin yanı sıra son yıllarda bir ya da birkaç molekülle bilgi işlemde de önemli ilerlemeler kaydedildi. Bilginin moleküllerle işlenmesi düşüncesi ilk kez 1970'lerin başlarında, IBM'den Avi Aviram ile Northwestern Üniversitesinden Mark A. Ratner tarafından ortaya atılmıştı.[14] O dönemde, bu düşüncenin geliştirilmesinde kullanabileceğimiz, elektronik, fizik, kimya, hatta biyoloji süreçlerinde ters mühendislik işleminde eşzamanlı ilerlemeyi gerektiren, kolaylaştırıcı teknolojilerimiz henüz yoktu.

2002'de Wisconsin Üniversitesi ve Basel Üniversitesinden bilim insanları, atomları kullanarak sabit diski taklit eden bir "atomsal bellek sürücüsü" ürettiler. Taramalı tünel mikroskobu kullanılarak tek bir silikon atomu, yirmi atomluk bir bloka eklenebilmekte ya da bloktan çıkarılabilmekteydi. Yapılan tanıtımda daha az miktarda bit saklanmakla birlikte, bilim insanları bu işlemin kullanılmasıyla, sistemin, dengi büyüklükteki –her inç karede yaklaşık 250 terabitlik veri yoğunluğu– bir disk üzerinde milyonlarca kat daha fazla veri saklamak için kullanılabileceğine inanmaktadırlar.[15]

Urbana–Champaign'deki Illinois Üniversitesinden bilim insanlarının yaptığı nano ölçekli transistör dikkate alındığında, Peter Burke'un moleküler devreler için bir terahertzlik hız öngörüsü giderek daha doğru görünmektedir. Bu transistör 604 gigahertzlik bir frekansla (bir terahertzin yarısından fazla) çalışmaktadır.[16]

14 Avi Aviram ve Mark A. Ratner, "Molecular Rectifiers," *Chemical Physics Letters* (15 Kasım 1974): 277–283, Charles M. Lieber, "The Incredible Shrinking Circuit," Scientific American (Eylül 2001) içinde verilmektedir, http://www.sciam.com ve http://www-mcg.uni-r.de/ downloads/lieber.pdf. Aviram ve Ratner içinde betimlenen tek molekül doğrultucu, tercihe göre akımı her iki yönde de geçirebiliyordu.

15 Will Knight, "Single Atom Memory Device Stores Data," NewScientist.com, 10 Eylül 2002, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99992775, R. Bennewitz vd, "Atomic Scale Memory at a Silicon Surface," *Nanotechnology* 13 (4 Temmuz 2002): 499–502'ye atıf.

16 Transistörleri, indiyum fosfür ve indiyum galyum arsenitten yapılmıştır. Illinois Üniversitesi, Urbana–Champaign, haber bülteni, "Illinois Researchers

Araştırmacıların bilgi işlem için istenen özelliklere sahip olduğunu belirledikleri bir molekül tipi, bir molekülün içinde yer alan yüzük biçimli yapının enerji düzeyini değiştirerek bir durumdan diğerine geçebilen, "rotaksan" denen molekül tipidir. Ortaya konan rotaksan bellekle elektronik anahtarlama aygıtları, inç kare başına yüz gigabit (10^{11} bit) saklama potansiyeli göstermektedir. Üç boyutlu olarak düzenlendiğinde, bu potansiyel daha da artacaktır.

Kendiliğinden Birleşme. Nano ölçekli devrelerde kendiliğinden birleşme işlemi, nanoelektroniğin uygulanabilirliğini mümkün kılan bir diğer önemli tekniktir. Kendiliğinden birleşme işlemi, yanlış biçimlenmiş bileşenlerin otomatik olarak atılmasını sağlayarak, potansiyel olarak var olan trilyonlarca devre bileşeninin, zahmetli bir yukarıdan aşağı işlemle birleşmesi yerine, kendi kendilerini düzenlemelerine olanak sağlamaktadır. California Üniversitesindeki bilim insanlarına göre işlem, büyük ölçekli devrelerin multimilyar dolarlık fabrikalar yerine test tüplerinde, litografi yerine kimyasal kullanılarak oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.[17] Purdue Üniversitesi araştırmacıları, değişmez yapılarda DNA dizilerinin birbirlerine bağlanmalarına neden olan ilkeyi kullanarak, kendiliğinden düzenlenen nanotüp yapılarını daha şimdiden kanıtladılar.[18]

Create World's Fastest Transistor—Again," http://www.eurekalert.org/pub_releases/2003-11/uoia-ircl10703.php.

17 Michael R. Diehl vd, "Self–Assembled Deterministic Carbon Nanotube Wiring Networks," *Angewandte Chemie International Edition* 41.2 (2002): 353–356; C. P. Collier vd, "Electronically Configurable Molecular–Based Logic Gates," *Science* 285.5426 (Temmuz 1999): 391–394. *Bkz.* http://www.its.caltech.edu/~heathgrp/papers/Paperfiles/2002/diehlangchemint.pdf ve http://www.cs.duke.edu/~thl/papers/Heath.Switch.pdf.

18 Purdue ekibi tarafından geliştirilen "rosette nanotüpler," karbon, nitrojen, hidrojen ve oksijen içerir. Rosette'ler, iç kısımları hidrofobik (su sevmez), dış kısımlarıysa hidrofilik (su sever) olduğundan kendiliğinden düzenlenebilirdirler. Bu nedenle de iç kısımlarını sudan koruyabilmek için rozetler nanotüpler halinde yığılırlar. Başaraştırmacı Hicham Fenniri'ye göre, "yeni bir arama yöntemiyle artık rozet nanotüplerimizin fiziki ve kimyasal özellikleri neredeyse istenilen biçimde değiştirilebilmektedir." R. Colin Johnson, "Purdue Researchers Build Made–to–Order Nanotubes," *EETimes*, 24 Ekim 2002, http://www.eetimes.com/article/ showArticle.jhtml?articleId=18307660; H. Fenniri vd, "Entropically Driven Self–Assembly of Multichannel Rosette Na-

Haziran 2004'te önemli bir adım daha atan Harvard Üniversitesi araştırmacıları, büyük ölçekte kullanılabilen başka bir kendiliğinden düzenlenme yöntemini ortaya koydular.[19] Teknik, fotolitografi kullanarak, bağlantıların (bilgi işleme ögeleri arasındaki bağlantılar) baskı diziliminin oluşturulmasıyla başlar. Ardından, çok sayıda nanotelli alan etkili transistör (yaygın görülen bir transistör biçimi) ile nano ölçekli bağlantılar dizilimin üzerine yerleştirilir. Sonra bunlar doğru örüntüyle bağlantılarını kendileri kurarlar.

2004'te Güney California Üniversitesi araştırmacıları ile NASA'nın Ames Araştırma Merkezi, çok yoğun devrelerin bir kimyasal eriyikte kendiliğinden düzenlenme işlemini gerçekleştiren bir yöntemi tanıttılar.[20] Teknik, nanotellerin kendiliğinden oluşmasını, ardından her biri üç bitlik veri taşıyabilen nano ölçekli bellek hücrelerinin teller üzerinde kendiliğinden birleşmelerini sağlamakta. Flaş bellek kartının 6,5 gigabitlik kapasitesine karşın, bu teknolojinin saklama kapasitesi, inç kare başına 258 gigabit veridir (araştırmacılar bu kapasitenin on katına çıkarılabileceğini öne sürmektedirler). IBM de 2004 yılında, yirmi nanometre genişliğinde altıgen yapılar olarak kendiliğinden birleşebilen polimerler kullanan, çalışır bir bellek aygıtını tanıttı.[21]

---

notubes," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99, ek. 2 (30 Nisan 2002): 6487–92; Purdue haber bülteni, "Adaptable Nanotubes Make Way for Custom–Built Structures, Wires," http://news.uns.purdue.edu/UNS/html4ever/020311.Fenniri.scaffold.html.

Benzer bir çalışma, Hollandalı bilim insanları tarafından gerçekleştirilmiştir: Gaia Vince, "Nano–Transistor Self–Assembles Using Biology," NewScientist.com, 20 Kasım 2003, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99994406.

19 Liz Kalaugher, "Lithography Makes a Connection for Nanowire Devices," 9 Haziran 2004. http://www.nanotechweb.org/articles/news/3/6/6/1, Song Jin vd, "Scalable Interconnection and Integration of Nanowire Devices Without Registration," *Nano Letters* 4.5 (2004): 915–919'a atıf.

20 Chao Li vd, "Multilevel Memory Based on Molecular Devices," *Applied Physics Letters* 84.11 (15 Mart 2004): 1949–51. *Ayrıca bkz.* http://www.technology review.com/articles/ rnb_051304.asp?p=1. *Ayrıca bkz.* http://nanolab.usc.edu/PDF% 5CAPL84-1949.pdf.

21 Gary Stix, "Nano Patterning," *Scientific American* (9 Şubat 2004), http://www.sciam.com/print_version.cfm?articleID=00017OD6-C99F-101E-861F83414B 7F 0000; Michael Kanellos, "IBM Gets Chip Circuits to Draw Themselves," CNET News.com, http://zdnet.com.com/2100-1103-5114066.html. *Ayrıca*

Nanodevrelerin kendiliğinden yapılanabilir olmaları da önemlidir. Devre bileşenlerinin sayısının yüksek olması ve bu bileşenlerin (küçüklüklerine bağlı) doğal kırılganlıkları nedeniyle, bir devrenin bazı bölümlerinin doğru çalışmaması kaçınılmazdır. Trilyon transistör arasından yalnızca küçük bir kısmının çalışmaması nedeniyle tüm bir devreyi atmak ekonomik açıdan elverişli olmayacaktır. Bu kaygıyı gidermek için, geleceğin devreleri kendi performanslarını sürekli olarak izleyip, tıpkı internet üzerindeki bilginin çalışmayan düğümlerin çevresinden yönlendirildikleri gibi, bilgiyi güvenilir olmayan kısımların çevresinden dolaştıracaklar. Bu alanda etkin araştırmalar yürüten IBM, sorunları otomatik olarak tanılayıp çip kaynaklarını buna göre yeniden yapılandıran mikroişlemci tasarımlarını geliştirmeye şimdiden başladı.[22]

Biyolojinin Taklit Edilmesi. Kendini kopyalayan ve düzenleyen elektronik ve mekanik sistemlerin kurulması düşüncesi, bu özelliklere dayanan biyolojiden esinlenir. *Proceedings of the National Academy of Science* dergisinde yayımlanan araştırmalar, kendiliğinden kopyalanan bir protein çeşidi olan prionlara dayanan, kendiliğinden kopyalanan nanotellerin yapısını betimlemektedir. (Prionların bir türü insan belleğinde görev üstlenirken, bir diğer türünün de insanlarda bir tür deli dana hastalığı olan varyant Creutzfeldt–Jakob hastalığına neden olduğu düşünülmektedir.)[23] Projede çalışan ekip, doğal dirençleri nedeniyle prionları model olarak kullandı. Ancak araştırmacılar, prionlar normal olarak elektriği iletmediklerinden, elektriği düşük dirençle ileten ince bir altın tabakası içeren, genetiği değiştirilmiş bir türü oluşturdular.

---

bkz. http://www. nanopolis.net/news_ind.php?type_ id=3.

22 IBM, örneğin bellek ya da hızlandırıcı ekleyerek gereksinime göre otomatik olarak yeniden yapılandırılabilen çipler üzerinde çalışmaktadır. IBM'in Sistem ve Teknoloji Grubunun başteknoloğu Bernard Meyerson, "gelecekte, elinizdeki çipler satın aldıklarınızla aynı olmayabilir," açıklamasını yaptı. IBM basın bülteni, "IBM Plans Industry's First Openly Customizable Microprocessor," http://www.ibm.com/investor/press/mar-2004/31-03-04-1.phtml.

23 BBC Haberi, " 'Nanowire' Breakthrough Hailed," 1 Nisan 2003, http://news.bbc. co.uk/1/hi/sci/tech/2906621.stm. Yayımlanan makale, Thomas Scheibel vd, "Conducting Nanowires Built by Controlled Self–Assembly of Amyloid Fibers and Selective Metal Deposition," *Proceedings of the National Academy of Science* 100.8 (15 Nisan 2003): 4527-4532, 2 Nisan 2003'te çevrimiçi yayımlanmıştır, http://www.pnas.org/cgi/content/full/100/8/4527.

Çalışmayı yöneten MIT biyoloji profesörlerinden Susan Lindquist şu yorumu yapmaktadır: "Nanodevreler üzerinde çalışanların çoğu, bunları 'yukarıdan aşağıya' doğru üretim teknikleriyle oluşturmaya çalışırlar. Biz, 'aşağıdan yukarıya' doğru olan yöntemi kullanarak, zor işleri moleküler kendiliğinden birleşme işlemine bıraktık."

Biyolojide kendiliğinden kopyalanan asal molekül elbette DNA'dır. Duke Üniversitesi araştırmacıları, kendiliğinden birleşen DNA moleküllerini kullanarak, "kiremit" adı verilen moleküler yapı taşları oluşturdular.[24] Oluşturdukları "nano ızgaralarla," sonuçta ortaya çıkan birleşmenin yapısını kontrol edebildiler. Bu yöntem, bilgi işleme için kullanılabilecek her nano ızgara hücresine otomatik olarak protein molekülleri eklemektedir. Araştırmacılar ayrıca, DNA nanoşeritlerinin üzerlerini gümüşle kaplayarak nanoteller oluşturan bir kimyasal süreci gerçekleştirdiler. *Science* dergisinin 26 Eylül 2003 tarihli sayısında yayımlanan makalede, araştırma ekibinin lideri Hao Yan şöyle yazmaktadır: "DNA'nın kendiliğinden birleşme işlemini kullanarak protein moleküllerinin ya da diğer moleküllerin şablonunu çıkarma çalışmaları yıllardır sürüyor olmakla birlikte, ilk kez böylesine açık biçimde gerçekleştirilebilmiştir."[25]

DNA'yla Bilgi İşlem. DNA, doğanın kendi yaptığı nanobilgisayardır; moleküler düzeyde bilgi saklama ve mantıksal işlem yürütme yeteneği daha şimdiden özel "DNA bilgisayarlarında" başarıyla kullanılmıştır. Bir DNA bilgisayarı, temelde, her biri bir bilgisayar gibi davranan trilyonlarca molekül içeren, suyla dolu bir test tüpüdür.

Bilgi işlemin amacı, çözümü bir simgeler dizisiyle ifade ederek problem çözmektir. (Örneğin, simgeler dizisi bir matematik kanıtı ya da yalnızca bir sayının basamaklarını gösterebilir.) Bir DNA

24 Duke Üniversitesi basın duyurusu, "Duke Scientists 'Program' DNA Molecules to Self Assemble into Patterned Nanostructures," http://www.eurekalert.org/pub_releases/2003-09/du-ds092403.php, Hao Yan vd, "DNA–Templated Self–Assembly of Protein Arrays and Highly Conductive Nanowires," Science 301.5641 (26 Eylül 2003): 1882–1884'e atıf. *Ayrıca bkz.* http://www.phy.duke.edu/~gleb/Pdf_ FILES/DNA_science.pdf.

25 *Age.*

bilgisayarı şöyle çalışır: Her simge için farklı bir kod kullanılarak küçük bir DNA dizisi oluşturulur. "Polimeraz zincir tepkimesi (PCR) adı verilen işlem uygulanarak bu dizilerin her biri trilyonlarca kez çoğaltılır. Ardından bu DNA havuzları bir test tüpüne konur. DNA'nın dizileri birbirine bağlama eğilimiyle otomatik olarak uzun diziler oluşur. Bu dizi sıralarının her biri farklı simgeleri temsil eder; her simge de problemin olası bir çözümünü oluşturur. Böyle trilyonlarca dizi oluşacağına göre her olası yanıt için (yani her olası simge sırası için) birden çok dizi bulunur.

İşlemin sonraki adımı, tüm dizilerin *eşzamanlı* olarak test edilmesidir. Bu, belli ölçütleri karşılamayan dizileri yok eden, özel tasarlanmış enzimler kullanılarak uygulanır. Enzimler ardışık olarak test tüplerine uygulanır, belirli bir enzim dizisinin tasarımıyla da, işlem sonunda tüm yanlış dizileri yok ederek yalnızca doğru yanıtı içerenleri korur (daha ayrıntılı bir tanım için nota bakınız).[26]

---

26 İşleme örnek olarak, gezgin satıcı problemi olarak adlandırılan problemin çözümü şöyledir: Problem, birçok kente gideceğini varsaydığımız bir gezginin, her kente yalnız bir kere uğrayarak birçok kente gidebileceği en uygun güzergâhı belirlemektir. Yalnızca belli kent çiftleri arasında yol bağlantısı olduğundan doğru güzergâhı bulmak düz bir işlem değildir.
Gezgin satıcı problemini çözmek için Güney California Üniversitesi matematikçilerinden Leonard Adleman şu adımları uygulamıştır:
1. Her kent için farklı bir kod tanımlayarak bir DNA dizisi oluşturulur.
2. Bu dizilerden her biri (her kent için bir adet olmak üzere), polimeraz zincir tepkimesi kullanılarak trilyonlarca kez çoğaltılır.
3. Sonra DNA havuzları (her kent için bir havuz) bir arada bir test tüpüne konur. Bu, adım, DNA'nın dizileri birbirine bağlama eğilimini kullanır. Otomatik olarak uzun diziler oluşacaktır. Bu dizilerin her biri farklı kentlerin olası yollarını gösterir. Her kenti gösteren küçük diziler birbirlerine rastgele biçimde bağlanırlar, bu nedenle doğru yanıtı (kentlerin sıralaması) gösteren dizi bağlantısının oluşacağı matematiksel olarak kesin değildir. Bununla birlikte, dizilerin sayısı o kadar yüksektir ki bunların arasından en azından bir dizinin –belki de milyonlarcasının– doğru yanıtı göstererek oluşacağı kesindir.
Sonraki adımlar, özel olarak tasarlanmış enzimleri kullanarak doğru olmayan yanıtları gösteren trilyonlarca diziyi ayıklayıp, geriye yalnızca doğru yanıtı gösteren dizileri bırakır:
4. "Primerler" adı verilen moleküller kullanılarak gezinin başladığı kentle başlamayan ve gezinin bittiği kentle bitmeyen DNA dizileri yok edilir; kalan diziler polimeraz zincir tepkimesi kullanılarak çoğaltılır.
5. Bir enzim tepkimesi kullanılarak toplam kent sayısından daha uzun bir yolu gösteren DNA dizileri ayıklanır.

DNA'yla bilgi işlemin gücündeki anahtar, trilyonlarca dizinin eşzamanlı olarak test edilmesini sağlamasıdır. 2003'te Weizmann Bilim Enstitüsünde Ehud Shapiro önderliğindeki İsrailli bilim insanları, insan bedeni gibi biyolojik sistemlerde doğal yakıt görevini yerine getiren adenozin trifosfat (ATP) ile DNA'yı birleştirdiler.[27] Bu yöntemle DNA moleküllerinin her biri, hem bilgi işlem gerçekleştirebiliyor hem de kendi enerjisini üretebiliyordu. Weizmann'daki araştırmacılar, bu süper sıvı bilgi işleme sisteminden iki kaşıkla oluşturulan, otuz milyon kere milyar moleküler bilgisayar içeren ve saniyede toplam 660 trilyon işlem ($6,6x10^{14}$ cps–saniye başına karakter) gerçekleştirebilen bir yapılanmayı gösterdiler. Bu bilgisayarların enerji tüketimi son derece düşüktür; otuz milyon kere milyar bilgisayarın tümü için bir vatın elli milyonda biridir.

Ancak, DNA'yla bilgi işlemenin bir sınırı vardır: Aygıtın, "tek komut çok veri" (SIMD) mimarisine sahip olabilmesi için birkaç trilyon bilgisayarın her birinin aynı anda (farklı veriler üzerinden de olsa) aynı işlemi yürütmesi gereklidir. Tek komut çok veri sisteminde çıkabilecek (bir görüntüdeki her pikselin imge iyileştirme ya da sıkıştırma için işlenmesi, birleşimsel mantık problemlerinin çözülmesi gibi) önemli problem sınıfları bulunsa da, bunların,

---

6. Bir enzim tepkimesi kullanılarak, 1 numaralı kenti içermeyen diziler yok edilir. Bu işlem her kent için yinelenir.
7. Geriye kalan dizilerin her biri artık doğru yanıtı göstermektedir. Kalan bu diziler, bu dizilerden milyarlarca elde edilene kadar (polimeraz zincir tepkimesi kullanılarak) çoğaltılır.
8. Elektroforez adı verilen bir yöntemle bu doğru ipliklerdeki (grup olarak) DNA dizisi okunur. Okuma, kentlerin doğru sıralamasını belirleyen belirgin sıralardan oluşan bir kümeye benzer.

Bkz. L. M. Adleman, "Molecular Computation of Solutions to Combinatorial Problems," *Science* 266 (1994): 1021–24.

27 Charles Choi, "DNA Computer Sets Guinness Record," http://www.upi.com/view.cfm?StoryID=20030224-045551-7398r. *Ayrıca bkz.* Y. Benenson vd, "DNA Molecule Provides a Computing Machine with Both Data and Fuel," Proceedings of the National Academy of Sciences 100.5 (4 Mart 2003): 2191–2196, http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender. fcgi?tool=pubmed&pubmedid= 12601148 adresinde bulunabilir; Y. Benenson vd, "An Autonomous Molecular Computer for Logical Control of Gene Expression," Nature 429.6990 (27 Mayıs 2004): 423–429 (28 Nisan 2004'te çevrimiçi yayımlanmıştır), http://www.wisdom. weizmann.ac.il/~udi/ShapiroNature2004.pdf adresinde bulunabilir.

her bilgisayarın verilen özel görevinin gerektirdiği herhangi bir işlemi yürütebileceği şekilde, genel amaçlı algoritmalara uygun olarak programlanması mümkün değildir. (Daha önce anlatılan, Purdue Üniversitesi ile Duke Üniversitesinin, kendiliğinden birleşen DNA dizilerini kullanarak üç boyutlu yapılar oluşturmak için yürüttükleri araştırmaların, burada anlatılan DNA'yla bilgi işlemden farklı olduklarına dikkat edin. İki üniversitenin araştırma projeleri, tek komut çok veri işlemiyle sınırlı olmayan, duruma bağlı yapılandırmaları oluşturma potansiyeline sahiptir.)

Dönüş Tabanlı Bilgi İşlem. Elektronlar, taşıdıkları negatif elektrik yükünün yanı sıra ayrıca bellek ve bilgi işlem için kullanılabilecek bir başka özelliğe sahiptirler: Kendi çevrelerinde dönme özelliği. Kuantum mekaniğine göre elektronlar, dünyanın kendi ekseni etrafında dönüşüne benzer biçimde, bir eksenin etrafında dönerler. Bu kavram kuramsaldır, çünkü bir elektronun uzayda bir nokta kapladığı düşünülmektedir; bir noktanın büyüklüğü olmasa da döndüğünü düşünmek ise zordur. Ancak, elektrik yükü yer değiştirdiğinde gerçek ve ölçülebilir bir manyetik alan oluşturur. Bir elektron "yukarı" ve "aşağı" olarak tanımlanabilen iki yönde dönebilir; böylece bu özellik mantık anahtarlamasında ya da bir bitlik belleğin kodlanmasında kullanılabilir.

Dönüş tabanlı elektroniğin insanı heyecanlandıran tarafı, bir elektronun dönme durumunun değiştirilmesi için enerji gerekmemesidir. Stanford Üniversitesi fizik profesörlerinden Shoucheng Zhang ile Tokyo Üniversitesi profesörlerinden Naoto Nagaosa bunu şöyle açıklamaktadırlar: "Yeni bir 'Ohm Yasası'na [bir telden geçen akımın, gerilimin dirence bölünmesine eşit olduğunu söyleyen elektronik yasası] denk gelebilecek bir keşif yaptık. ... [Buna göre] elektronun dönme hareketi, herhangi bir enerji yitimi olmadan taşınabilir. Ayrıca, bu etki oda sıcaklığında, galyum arsenit gibi yarı iletken endüstrisinde bugün yaygın olarak kullanılan malzemelerde ortaya çıkmaktadır. Bu, bilgi işleme aygıtlarında yeni bir nesle olanak sağlayabileceği için önemlidir."[28]

28 Stanford Üniversitesi basın duyurusu, " 'Spintronics' Could Enable a New Generation of Electronic Devices, Physicists Say," http://www.eurekalert.org/pub_releases/2003-08/su-ce080803.php, Shuichi Murakami, Naoto Nagaosa, ve Shou-Cheng Zhang, "Dissipationless Quantum Spin Current at

O halde buradaki potansiyel, oda sıcaklığında süper iletkenliğin verimine ulaşmaktır (yani, bilgiyi herhangi bir kayba uğratmadan ışık hızında ya da ışık hızına yakın hızda taşımaktır). Bu, ayrıca, her elektronun çeşitli özelliklerinin bilgi işlemede kullanılmasını, böylelikle bellekle bilgi işleme yoğunluğunun potansiyelinin artırılmasını sağlamaktadır.

Bilgisayar kullanıcıları dönüş tabanlı elektroniğin bir biçimiyle çoktan tanıştı: Manyeto direnç (bir manyetik alanın yarattığı elektrik direnç değişimi), manyetik sabit diskler üzerinde veri saklama amacıyla kullanılmaktadır. MRAM (manyetik rastgele erişimli bellek) adı verilen, uçucu olmayan belleğe dayanan dönüş tabanlı elektroniğin yeni bir ilginç özelliğinin de birkaç yıla kadar piyasaya çıkması beklenmektedir. Sabit disk sürücüler gibi MRAM da veriyi enerji almadan korumakla birlikte, hareketli parçalar kullanmaz ve geleneksel RAM'inkine kıyaslanabilir hızlara ve yeniden yazılabilirliğe sahip olacaktır.

MRAM, bilgiyi, veri saklamaya uygun olan ama bir mikroişlemcinin mantıksal işlemlerine uygun olmayan ferromanyetik metal alaşımlarda saklar. Dönüş tabanlı elektroniğin kutsal kâsesi, dönüş tabanlı elektroniğin etkilerinin bir yarı iletken üzerinde uygulanması olacak, bu da teknolojiyi hem bellek hem de mantık için kullanabilmemizi sağlayacaktır. Günümüzde çip üretimi, gerekli manyetik özellikleri taşımayan silikon temellidir. Mart 2004'te uluslararası bir araştırmacı grubu, silikon ve demir karışımına kobalt katılarak elde edilen yeni maddenin, bir yarı iletken olarak silikonun sahip olması gereken kristalimsi yapısını koruduğunu, dönüş tabanlı elektronik için gereken manyetik özellikleri de gösterebildiğini açıkladı.[29]

Dönüş tabanlı elektroniğin geleceğin bilgisayar belleğinde oynayacağı önemli rol açıktır, bunun mantık sistemlerine katkıda bulunması da olasıdır. Elektronun dönmesi, bir kuantum özelliktir (kuantum mekaniği yasalarına tabidir). Bu nedenle, belki de dönüş tabanlı elektronikteki en önemli uygulama, kuan-

---

Room Temperature," *Science* 301.5638 (5 Eylül 2003): 1348–1351'e atıf.

29 Celeste Biever, "Silicon-Based Magnets Boost Spintronics," NewScientist.com, 22 Mart 2004, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99994801, Steve Pearton, "Silicon-Based Spintronics," *Nature Materials* 3.4 (Nisan 2004): 203–204'e atıf.

tum dolaşıklı elektronların aşağıda irdelediğim kuantum bitlerinin gösterimi için kuantum bilgi işlem sistemlerinde kullanılması olacaktır.

Dönme hareketi, protonların manyetik momentlerinin karmaşık etkileşimini kullanarak, atom çekirdeğinde bilgi saklamak amacıyla da kullanılmıştır. Oklahoma Üniversitesi araştırmacıları, on dokuz hidrojen atomu içeren tek bir sıvı kristal molekülün içinde 1024 bitlik bilgiyi saklamak için uyguladıkları "moleküler fotoğraf" tekniğini kanıtlamışlardır.[30]

Işıkla Bilgi İşlem. Tek komut çok veriyle (SIMD) bilgi işlemenin bir diğer yöntemi, bilginin her bir foton akımında kodlanmış olduğu, çeşitli lazer ışın demetlerinin kullanılmasıdır. Böylece kodlanmış bilgi akımlarının üzerinde mantıksal ve aritmetik fonksiyonlar uygulamak için optik bileşenler kullanılabilir. Örneğin, İsrailli küçük bir şirket olan Lenslet'in geliştirdiği bir sistemle, 256 lazer kullanılarak, bu 256 veri akımının her biri üzerinde aynı işlemin uygulanmasıyla saniyede sekiz trilyon işlem gerçekleştirilebilmektedir.[31] Sistem, örneğin 256 video kanalında veri sıkıştırma gibi uygulamalarda kullanılabilmektedir.

DNA bilgisayarları ve optik bilgisayarlar gibi tek komut çok veri teknolojileri, bilgi işlemin geleceğinde özel roller üstlenecekler. İnsan beyninin işlevselliğinin, duyulara ait veriler gibi belli yönlerinin kopyalanmasında tek komut çok veri mimarilerini kullanmak mümkündür. Beynin, öğrenme ve akıl yürütmeyle ilgili diğer bölgeleri için, "çok komut çok veri" (MIMD) mimarileriyle genel amaçlı bilgi işlem gerekecektir. Yüksek performanslı çok komutlu çok verili bilgi işlem içinse, yukarıda betimlenen üç boyutlu moleküler bilgi işlem paradigmalarını uygulamamız gerekecektir.

---

30 Will Knight, "Digital Image Stored in Single Molecule," NewScientist.com, 1 Aralık 2002, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99993129, Anatoly K. Khitrin, Vladimir L. Ermakov ve B. M. Fung, "Nuclear Magnetic Resonance Molecular Photography," *Journal of Chemical Physics* 117.15 (15 Ekim 2002): 6903–6906'ya atıf.

31 Reuters, "Processing at the Speed of Light," Wired News, http://www.wired.com/news/technology/0,1282,61009,00.html.

Kuantum Bilgi İşlem. Kuantum bilgi işlem, tek komut çok verili paralel işlemenin daha da radikal ama irdelediğimiz diğer yeni teknolojilere kıyasla çok daha erken evredeki bir biçimidir. Bir kuantum bilgisayar, temelde aynı anda hem sıfır hem de bir olan kuantum biti dizisini içerir. Kuantum biti, kuantum mekaniğinin doğasındaki temel belirsizliğe dayanır. Bir kuantum bilgisayarda kuantum bitleri parçacıkların bir kuantum özelliğiyle (örneğin tek tek elektronların dönme durumları gibi) yer alır. Kuantum bitleri "dolaşık" durumdayken her bit eşzamanlı olarak her iki durumda yer alır. "Kuantum eşevresizlik" adı verilen bir işlemle her kuantum bitinin belirsizliği giderilir, bir ve sıfırlardan oluşan, belirsiz olmayan bir dizilim elde edilir. Kuantum bilgisayar eğer doğru düzende kurulmuşsa, uyumsuzluğu giderilen dizilim bir problemin çözümü yerine geçer. Eşevresizlik işleminden geriye, zorunlu olarak yalnızca doğru olan dizilim kalır.

Yukarıda betimlenen DNA bilgisayarda ise kuantum işleminin başarıyla yürütülmesinin anahtarı, olası yanıtların test edilmesinin tam yöntemi de dahil olmak üzere, problemin dikkatli tanımlanmasıdır. Kuantum bilgisayar, kuantum bitleri için değerlerin her olası *birleşimini* etkin biçimde sınar. Böylece, bin kuantum bitlik bir kuantum bilgisayar, 2^{1000} (yaklaşık olarak 1 ve onu izleyen 301 adet sıfıra eşit olan bir sayıdır) potansiyel çözümü aynı anda test eder.

Bin bitlik bir kuantum bilgisayar akla yatkın herhangi bir DNA bilgisayarın ya da aynı biçimde kuantum olmayan herhangi bir bilgisayarın çok ötesinde bir üstünlük sağlayacaktır. Ancak bu işlemde iki kısıtlama vardır. Bunlardan birincisi, yukarıda irdelenen DNA ve optik bilgisayarlarda olduğu gibi, yalnızca özel bir problem kümesi kuantum bilgisayarda işleme uygundur. Temelde, her olası yanıtı basit bir yöntemle sınayabilmemiz gerekir.

Kuantum bilgi işlemenin uygulamadaki kullanımının klasik örneği, çok büyük sayıların çarpanlara ayrılması (birbirleriyle çarpıldıklarında hangi küçük sayıların büyük sayıya ulaştığının bulunması) işlemidir. 512'den yüksek bitli rakamları çarpanlarına ayırma işlemi, sayısal bilgisayarlarla, yoğun paralel bir süper bilgisayar bile olsa, şu anda başarılamamaktadır.[32] Kuantum bilgi

32 RSA Security şirketine göre bugüne kadar çarpanlarına ayrılabilen en büyük sayı 512 bitten biridir.

işleme uygun ilginç problem sınıfları arasında şifreleme kodlarının kırılması da (işlem, büyük sayıların çarpanlarına ayrılmasına dayanır) yer alır. Diğer bir problem ise bir kuantum bilgisayarın bilgi işlem gücünün dolaşık kuantum biti sayısına bağlı olması, günümüz teknolojisinin ise on bit dolayında sınırlı olmasıdır. 2^{10} yalnızca 1024 ettiğinden, on bitlik bir kuantum bilgisayar pek yararlı değildir. Geleneksel bir bilgisayarda, bellek bitleriyle mantık geçitlerinin birleştirilmesi basit bir işlemdir. Yine de on kuantum bitlik iki bilgisayarı birleştirerek yirmi kuantum bitlik bir kuantum bilgisayar oluşturamayız. Tüm kuantum bitlerinin kuantum dolaşıklığında bir arada olmaları gerekir ki bu, aşılması zor bir problemdir.

Kilit sorulardan biri, her ek kuantum bitinin eklenmesinin ne kadar zor olduğudur. Eklenen her kuantum bitiyle bir kuantum bilgisayarın bilgi işlem gücü üstel olarak artmakla birlikte, her ek kuantum bitinin eklenmesi mühendislik işleminin üstel oranda zorlaşması sonucunu getirirse, bu bize üstel bir ilerleme sağlamaz. (Yani, bir kuantum bilgisayarın bilgi işleme gücü mühendislik işleminin zorluğuyla ancak doğrusal olarak orantılı olacaktır.) Genelde, kuantum bitleri eklemek için önerilen yöntemler, elde edilen sistemleri önemli ölçüde daha duyarlı ve eşevreli olmama durumuna karşı daha duyarlı hale getirmektedir.

Kuantum bitlerinin sayısını büyük ölçüde artırmanın yöntemleri öne sürülmekle birlikte, bunlar henüz uygulamada kanıtlanmamıştır. Örneğin, Stephan Gulde ve Innsbruck Üniversitesindeki çalışma arkadaşları, atomun sahip olduğu farklı kuantum özelliklerini kullanan düzinelerce –bir olasılıkla yüze kadar– kuantum bitini eşzamanlı olarak şifreleme potansiyeline sahip tek bir kalsiyum atomunu kullanarak bir kuantum bilgisayar yaptılar.[33] Kuantum bilgi işlemenin sonuçtaki rolü henüz çözümlenememiştir. Ama yüzlerce dolaşık kuantum biti içeren bir kuantum bilgisayarın kullanılabilir olduğu kanıtlansa bile, herhangi bir başka biçimde taklit edilemeyecek olağanüstü yeteneklerle de olsa, özel amaçlı bir aygıt olarak kalacaktır.

33 Stephan Gulde vd, "Implementation of the Deutsch–Jozsa Algorithm on an Ion–Trap Quantum Computer," *Nature* 421 (2 Ocak 2003): 48–50. *Bkz.* http://heart-c704.uibk.ac.at/Papers/ Nature03-Gulde.pdf.

The Age of Spiritual Machines adlı kitabımda moleküler bilgi işlemin altıncı büyük bilgi işlem paradigması olduğunu öne sürdüğümde bu henüz tartışmalı bir düşünceydi. Son beş yılda ise epeyce ilerleme kaydedildi, uzmanlarca benimsenen görüşlerde büyük değişimler oldu, bu düşünce de artık egemen görüş haline geldi. Artık elimizde üç boyutlu moleküler bilgi işlemin başlıca tüm gereklilikleri için kavram kanıtları bulunuyor: Tek moleküllü transistörler, atomlara dayanan bellek hücreleri, nanotellerle trilyonlarca (potansiyel olarak trilyon kere trilyon) bileşenin kendiliğinden birleşme ve kendiliğinden tanılama yöntemleri.

Çağdaş elektronik, çip yerleşim planının ayrıntılı tasarımından fotolitografiye, büyük, merkezileşmiş fabrikalarda çip üretimine kadar uzanır. Nanodevreler daha çok küçük kimya tüplerinde oluşturulacak gibi görünmektedir. Bu da, endüstriyel altyapımızın dağıtık yapıda gelişmesine doğru önemli bir adımı oluşturacak ve ivmelenen getiriler yasasını bu yüzyıl boyunca ve sonrasında sürdürecek bir gelişmedir.

İnsan Beyninin Bilgi İşlem Kapasitesi

> Bilgisayarlar yarım yüzyılda ancak bir böceğin zekâsına ulaşabilmişken, birkaç on yıl içinde bütünüyle zeki bilgisayarlar beklemek acelecilik gibi görünebilir. Gerçekten de, uzun süredir yapay zekâ üzerine çalışan çoğu araştırmacı bu nedenle, bu düşünceye dudak bükerek, birkaç yüzyıllık bir sürenin daha inandırıcı bir öngörü olduğunu ileri sürer. Ancak önümüzdeki elli yılda yaşanacak gelişmelerin, geçen elli yılda olduğundan daha hızlı seyredeceği düşüncesi sağlam nedenlere dayanır. ... 1990'dan bu yana, bireysel yapay zekâ ve robotbilim programlarının kullandığı güç her yıl ikiye katlanmış, 1994'te 30 MIPS, 1998'de ise 500 MIPS'e ulaşmıştır. Uzun zaman önce kısır olduğu iddia edilen tohumlar birden filizlenmeye başlamıştır. Makineler, metin okuyabiliyor, konuşmayı tanıyor, hatta bir dilden diğerine çeviri yapabiliyor. Robotlar araba kullanarak ülkeyi boydan boya kat edebiliyor, Mars yüzeyinde yürüyor, ofis koridorlarında geziniyor. 1996'da, Argonne Ulusal Laboratuvarının 50 MIPS'lik bilgisayarında beş hafta boyunca çalışan EQP adlı teorem kanıtlama programı, altmış yıldır matematikçilerin

gözden kaçırmış oldukları, Herbert Robbins'in Boole cebri varsayımının kanıtını buldu. Henüz bahar. Yaz gelene kadar bekleyin hele.

—Hans Moravec, "When Will Computer Hardware Match the Human Brain?" ["Bilgisayar Donanımı Ne Zaman İnsan Beyniyle Eşitlenecek"] 1997

İnsan beyninin bilgi işleme kapasitesi nedir? Farklı performans düzeylerine göre ters mühendislik işlemi uygulanan (yani yöntemleri anlaşılan) insan beynindeki bölgelerin işlevselliğinin kopyalanmasına dayanarak, birtakım tahminler ortaya atılmıştır. Belli bir bölgenin bilgi işleme kapasitesine ait bir değer elde ettiğimizde, o bölgenin beynin hangi bölümünü çalıştırdığını göz önünde bulundurarak beynin tamamı için tahmin yürütebiliriz. Bu hesaplar, o bölgedeki her nöronu ve nöronlar arasındaki bağlantıyı simüle etmek yerine, bölgenin genel işlevselliğini kopyalayan işlevsel simülasyona dayanır.

Tek bir hesaba güvenmek istemesek bile, beynin farklı bölgelerinde yapılan çeşitli değerlendirmeler beynin bütünü için akla yatkın tahminler sağlamaktadır. Aşağıda verilenler, büyüklük kertelerine göre tahmin değerleridir, yani 10'un katlarına en yakın uygun değerleri saptamaya çalışıyoruz. Farklı yollarla benzer sonuçlara ulaşılması, yaklaşımı doğrulamakta, yapılan tahminlerin uygun bir aralıkta yer aldığını göstermektedir.

Tekilliğin –insan zekâsının, biyolojik olmayan biçimiyle birleştirilmesi yoluyla trilyonlarca kat geliştirilmesi– önümüzdeki birkaç on yılda gerçekleşeceği öngörüsü bu hesaplamaların kesinliğine bağlı değildir. İnsan beyninin simüle edilmesi için gereken bilgi işlem miktarı için yaptığımız tahmin, bin kat daha iyimser (yani düşük) bile olsa (bunun olasılık dışı olduğunu düşünüyorum), bu, Tekilliği yalnızca sekiz yıl kadar erteleyecektir.[34] Bir milyon katı olması durumunda yalnızca on beş yıllık bir

34 Şu anda bilgi işlemin fiyat performansını her yıl ikiye katladığımıza göre, bin katı fiyat performansına ulaşmak için on kez katlanma, yani on yıl gerekecektir. Ama ikiye katlanma süresini de (yavaş yavaş) azalttığımız için, gerçekleşen sekiz yıl olacaktır.

erteleme anlamına gelirken, bir milyar katı yirmi bir yıl kadar erteleyecektir.[35]

Carnegie Mellon Üniversitesinden efsanevi robotbilimci Hans Moravec, retinadaki nöronlara ait görüntü işleme devrelerinin gerçekleştirdiği dönüşümleri inceledi.[36] Retina, yaklaşık iki santimetre genişliğinde, yarım milimetre kalınlığındadır. Retina derinliğinin büyük bölümü, görüntüyü yakalamaya, beşte biri de görüntüyü işlemeye ayrılmıştır. Karanlık ile ışığın ayırt edilmesi ve görüntünün yaklaşık bir milyon küçük bölgesindeki devinimi algılamak da buna dahildir.

Moravec'in incelemesine göre retina, bir saniye içinde bu kenar ve devinim bilgilerinden on milyonlarcasını algılamaktadır. Robotlarda görme sistemleri üzerinde çalıştığı on beş yirmi yılda edindiği deneyimle yaptığı hesaba göre, bu algıların her birini insanınkiyle aynı performans düzeyinde yeniden oluşturabilmek için yaklaşık yüz bilgisayar komutunun çalıştırılması gerekmektedir. Bunun anlamı, retinanın bu bölümünün görüntü işleme işlevinin kopyalanabilmesi için 1000 MIPS gerektiğidir. İnsan beyni, retinanın bu bölümünde bulunan 0,02 gram ağırlığındaki nöronlardan 75.000 kat daha ağırdır. Bu da, insan beyninin tamamı için saniyede yaklaşık 10^{14} (100 trilyon) komut tahmini demektir.[37]

---

35 Birbiri ardına gelen her bin katlık artışın kendisi de biraz daha hızlı gerçekleşmektedir. *Bkz.* önceki not.

36 Hans Moravec, "Rise of the Robots," *Scientific American* (Aralık 1999): 124–135, http://www.sciam.com ve http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/project.archive/robot.papers/1999/SciAm.scan.html. Moravec, Carnegie Mellon Üniversitesi Robotbilim Enstitüsünün profesörlerindendir. Moravec'in Gezici Robot Laboratuvarı, robotlara üç boyutlu uzay bilincini verebilmek için kamera, sonar gibi algılayıcıların kullanımını araştırmaktadır. 1990'larda Moravec, "temelde, geleneksel yöntemlerin dışında edindiğimiz çocuklarımız" olacak bir dizi robot kuşağı tanımlamıştır: "Sonunda, kendi ayakları üzerinde duracaklar ve bizim aklımıza getiremeyeceğimiz ya da kavrayamayacağımız şeyler yapacaklar, tıpkı çocukların yaptığı gibi." (Nova Online, Hans Moravec'le röportaj, Ekim 1997, http://www.pbs.org/wgbh/nova/robots/moravec.html). Moravec'in *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence* ile *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind* adlı kitapları bugünün ve geleceğin robot kuşaklarının yeteneklerini inceler.
Açıklama: Yazar, Moravec'in robotbilim şirketi Seegrid'in yatırımcısı ve yönetim kurulu üyesidir.

37 Moravec'in kullandığı bir saniyedeki komut sayısı ile saniyede hesap işlemi sayısı kavramları biraz farklı da olsa, bu iki kavram buradaki büyüklüğe

Bir diğer tahmini değer, Lloyd Watts ile arkadaşlarının, insanın işitme sistemiyle ilgili bölgelerin işleyişini simüle ettikleri çalışmalarından gelmektedir. Bunu dördüncü bölümde ele alacağım.[38] Watts'ın geliştirdiği yazılımın işlevlerinden biri, "akımın ayrıştırılmasıdır." Bu, telekatılımı (uzaktan sesli konferansla katılımcıların her birinin bir yer ve zaman boyutunun içine yerleştirilmesi) sağlamak için telekonferans ve diğer uygulamalarda kullanılmaktadır. Watts bunun başarılmasının, "uzayda ayrı yerlerde bulunan ve aynı sesi algılayan ses algılayıcıları arasındaki zaman gecikmesinin tam olarak ölçülmesi" anlamına geldiğini belirtmektedir. İşlem, ses frekansının analizini, uzaysal konum ve farklı dillere özgü olanlar dahil konuşma işaretleri üzerinde çalışmayı gerektirir. "İnsanların, bir ses kaynağının yerini belirlemek için kullandıkları önemli işaretlerden biri, kulaklar arası zaman farkı, yani sesin iki kulağa ulaşması arasındaki zaman farkıdır."[39]

Watts'ın kendi ekibi, ters mühendislik işlemiyle beynin bu bölgelerinin işlevsel olarak eşdeğerlerini yeniden oluşturdular. Watts, insanın sesi saptama düzeyine erişmek için saniyede 10^{11} cps gerektiğini hesaplamaktadır. Bu işlemden sorumlu işitme korteksine ait bölgeler, beynin nöronlarının en az yüzde 0,1'ini oluşturur. Bu hesapla yine, kabaca 10^{14} cps (10^{11} cps x 10^3) değerini elde ederiz.

---

göre sıralama hesaplamaları için yeterince yakındır. Moravec, robotun görme özelliği için biyolojik modellerden bağımsız bir matematik yöntemi geliştirmiştir. Ancak sonradan (Moravec'in algoritmaları ile biyolojik özellikler arasında) benzerlikler belirlenmiştir. İşlevsel açıdan, Moravec'in bilgi işlem çalışmaları nöronların bulunduğu bu bölgelerde gerçekleşen bilgi işleme yöntemlerini yeniden oluşturmaktadır, bu nedenle Moravec'in algoritmalarına dayanan bilgi işlem hesapları, işlevsel açıdan eşdeğer dönüşümler elde edebilmek için gerekenleri belirlemek için uygundur.

38 Lloyd Watts, "Event-Driven Simulation of Networks of Spiking Neurons," *Seventh Neural Information Processing Systems Foundation Conference*, 1993; Lloyd Watts, "The Mode-Coupling Liouville-Green Approximation for a Two-Dimensional Cochlear Model," *Journal of the Acoustical Society of America* 108.5 (Kasım 2000): 2266-2671. Watts, Audience, Inc. Şirketinin kurucusudur. Şirket, insanın işitme sisteminin işlevlerini simüle ederek, sesin otomatik konuşma tanıma sistemleri için ön işleme tabi tutulması dahil, ses işleme sistemlerine uyarlanması üzerinde çalışmaktadır. Daha fazla bilgi için, *bkz.* http://www.lloydwatts.com/neuroscience.shtml.
Açıklama: Yazar, Audience şirketine danışmanlık yapmaktadır.

39 ABD Patent Başvurusu 20030095667, ABD Patent ve Marka Bürosu, 22 Mayıs 2003.

Yine bir başka değer, Texsas Üniversitesinde yapılan, 10^4 nöron içeren beyincik bölgesinin işlevlerini gösteren bir simülasyondan gelmiştir; bu simülasyon yaklaşık 10^8 cps ya da nöron başına yaklaşık 10^4 cps gerektirmiştir. Bunu, 10^{11} nöron tahmini üzerinden hesaplarsak, beynin tamamı için yaklaşık 10^{15} cps'lik bir değer elde ederiz.

İnsan beyniyle ilgili ters mühendisliğin durumunu daha sonra ele alacağız. Ancak, beyin bölgelerinin işlevlerini taklit etmek için gereken bilgi işlem miktarının, her bir nöronun ve tüm nöron bileşenlerinin (yani her nöronun içinde gerçekleşen karmaşık etkileşimin tamamı) doğrusal olmayan işleyişini tam olarak simüle etmek için gereken bilgi işlem miktarından az olduğu bellidir. Bedenin organlarının işlevselliğini simüle etmeye çalışırsak, yine aynı sonucu elde ederiz. Örneğin, insan pankreasının insülin düzeylerini düzenleme işlevini simüle eden, bedene yerleştirilebilen aygıtlar denenmektedir.[40] Bu aygıtlar, kandaki glikoz düzeylerini ölçerek, uygun düzeyi koruyacak şekilde kontrollü olarak insülin verirler. Biyolojik pankreasın çalışma sistemine benzer bir yöntemi uygulamakla birlikte pankreasın *her bir* adacık (islet) hücresini taklit etmezler, etmeleri için bir neden de yoktur.

Bu tahminlerin tümü kıyaslanabilir büyüklük kertelerini ortaya koymaktadır (10^{14} ile 10^{15} cps arası). İnsan beyni üzerinde yürütülen ters mühendisliğin başlangıç evresinde olduğunu dikkate alarak, ilerleyen bölümlerde daha tutucu olan 10^{16} cps değerini kullanacağım.

Beynin işlevsel simülasyonu insanın örüntü tanıma, akıl ve duygusal zekâ güçlerini yeniden oluşturmak için yeterlidir. Diğer

40 Medtronic MiniMed şirketinin ürettiği kapalı devre sistemli yapay pankreasla insanlar üzerinde yürütülen klinik deneylerden umut verici sonuçlar elde edilmektedir. Şirket, bu aygıtın önümüzdeki beş yıl içinde piyasaya sürüleceğini açıklamıştır. Medtronic haber bülteni, "Medtronic Supports Juvenile Diabetes Research Foundation's Recognition of Artificial Pancreas as a Potential 'Cure' for Diabetes," 23 Mart 2004, http://www. medtronic.com/newsroom/news_2004323a.html. Bu tür aygıtlar, bir glikoz algılayıcı, bir insülin pompası ve insülin seviyelerini ölçen otomatik bir mekanizmayla çalışmaktadır (Uluslararası Hastaneler Federasyonu, "Progress in Artificial Pancreas Development for Treating Diabetes," http://www.hospitalmanagement.net/informer/technology/tech10). Roche şirketi de 2007 yılına kadar yapay pankreas üretme yarışına katılmıştır. *Bkz.* http://www.roche.com/pages/downloads/science/pdf/rtdcmannh02-6.pdf.

yanda, belli bir insanın kişiliğini "yüklemek" istersek (bu kavramı dördüncü bölümde ayrıntılı olarak ele alacağım; yani, o kişinin tüm bilgi ve becerilerini, kişiliğini toplamak istersek), o zaman tek tek nöronlar ve hücre bölümleri temelinde sinirsel süreçlerini, örneğin soma (hücre gövdesi), akson (çıktı bağlantısı), dendritler (girdi bağlantılarından oluşan ağaçlar), sinapsları (aksonlarla dendritleri birleştiren bölgeler) simüle etmemiz gerekebilir. Bunun için her nöronun ayrıntılı modeline bakmamız gerekir. Her nöronda merkezi bağlantı sayısı 10^3 hesaplanmaktadır. Tahmini 10^{11} nöronla bu 10^{14} bağlantı verir. Bu da beş milisaniyelik bir sıfırlanma süresiyle saniyede 10^{16} sinaptik işleme karşılık gelir.

Nöron modeli simülasyonlar, dendritler ile diğer nöron bölgelerindeki doğrusalsızlıkları (karmaşık etkileşimler) yakalamak için her sinaptik işlem başına yaklaşık 10^3 hesap işlemini ve beynin bu düzeyinin simülasyonu için toplamda yaklaşık 10^{19} cps sonucunun gerektiğini göstermektedir.[41] Bu nedenle bunu üst sınır olarak düşünebiliriz, ama tüm beyin bölgelerinin işlevine denk bir düzey elde etmek için 10^{14} ile 10^{16} cps arasında bir değer yeterli olacak gibidir.

---

41 Bireysel nöronların ve hücrelerarası bağlantıların çözümlemesine dayanarak bazı modeller ve simülasyonlar oluşturulmuştur. Tomaso Poggio, "Bir bakış açısına göre, nöron, tek bir eşik ögesinden çok, binlerce mantık geçidine karşılık gelen öğeye sahip bir çipe benzer," diye yazar. Tomaso Poggio, Ray Kurzweil'la özel iletişim, Ocak 2005.

Ayrıca bkz. T. Poggio ve C. Koch, "Synapses That Compute Motion," *Scientific American* 256 (1987): 46–52.

C. Koch ve T. Poggio, "Biophysics of Computational Systems: Neurons, Synapses, and Membranes," *Synaptic Function* içinde, yay. haz. G. M. Edelman, W. E. Gall ve W. M. Cowan, (New York: John Wiley and Sons, 1987), s. 637–697.

Ayrıntılı düzeydeki bir diğer model ve simülasyonlar kümesi, Pennsylvania Üniversitesinin Nöron Mühendisliği Araştırma Laboratuvarında, beyinde nöron düzeyinde uygulanan ters mühendislik işlemleriyle oluşturulmaktadır. Laboratuvarın yöneticisi Dr. Leif Finkel, "Şu anda görme korteksinin küçük bir parçasının hücre düzeyindeki modelini oluşturuyoruz. Bu, gerçek nöronların en azından temel çalışmasını doğru olarak yansıtan çok ayrıntılı bir bilgisayarlı simülasyondur. [Meslektaşım Kwabena Boahen'in] elinde retinayı tıpatıp modelleyerek gerçek retinayla büyük oranda eşleşen çıktı uçlarını üreten bir çip bulunmaktadır," diye konuşmaktadır. *Bkz.* http://nanodot.org/article.pl?sid=01/12/18/1552221.

Bu ve diğer modeller ile simülasyonlar üzerinde yapılan değerlendirmeler, her sinirsel işlem başına (tek bir dendrit üzerinde tek bir sinyal iletimi ve sıfırlama işlemi) 10^3 hesap işleminin makul bir üst sınır olduğunu göstermektedir. Çoğu simülasyon, bundan oldukça azını kullanmaktadır.

Şu anda hazırlanan ve bu kitabın piyasaya çıkacağı sıralarda tamamlanması planlanan IBM'in süper bilgisayarı Blue Gene/L'nin saniyede 360 trilyon işlem ($3,6x10^{14}$ cps) yürüteceği öngörülüyor.[42] Bu rakam yukarıda verilen alt değerlerden büyüktür. Blue Gene/L ayrıca yüz terabit dolayında (yaklaşık 10^{15} bit) ana belleğe sahip olacak, bu da insan beyninin işlev simülasyonu için yaptığımız bellek hesabından fazladır (*bkz.* aşağıdaki bölüm). Daha önce yaptığım tahminlere uygun olarak, gelecek on yılın başlarında süper bilgisayarlar, insan beyninin işlevlerinin taklidi için verdiğim 10^{16} bitlik daha tutucu hesaba ulaşacaklardır (*bkz.* s. 55'deki "Süper Bilgisayarların Gücü" başlıklı şekil).

İnsanınkine Eşdeğer Kişisel Bilgi İşlemin Elde Edilebilirliğinin Hızlandırılması. Günümüzün kişisel bilgisayarları 10^9 cps'in üzerinde saniye başına maliyetle çalışır. "Bilgi İşlemin Üstel Büyümesi" başlıklı grafikte (s. 55) verilen tahminlere göre 2025 yılına kadar 10^{16} cps'e ulaşabileceğiz. Ancak bu takvimin hızlandırılmasının çeşitli yolları vardır. Sık yinelenen hesaplama işlemlerinde daha yüksek fiyat performansı elde etmek için genel amaçlı işlemciler kullanmak yerine özel tümleşik devreler (ASIC) kullanılabilir. Bu tür devreler, şimdilerde video oyunlarındaki hareketli görüntülerin oluşturulmasında kullanılan, yinelenen işlemlerde oldukça yüksek bilgi işlem verimi sağlamaktadır. Uygulamaya özel tümleşik devreler fiyat performansını bin katına çıkarabilir,

42 İkinci kuşak Blue Gene bilgisayar olan Blue Gene/L için planlar 2001 yılının sonlarında açıklanmıştı. Bugünün süper bilgisayarlarından on beş kat daha hızlı ve yirmi kat daha küçük olarak planlanan bu yeni süper bilgisayar, Ulusal Nükleer Güvenlik Dairesinin Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı ve IBM tarafından yapılmaktadır. 2002 yılında IBM, bu süper bilgisayarlarda kullanılacak işletim sistemi için açık kaynak Linux'un seçildiğini açıklamıştır. Temmuz 2003'e gelindiğinde bu süper bilgisayarda kullanılacak olan, çipler üzerinde bütün bir sistemi barındıran yenilikçi işlemci çipleri üretime girmiştir. Projenin yöneticilerinden biri olan Paul Coteus'a göre, "Blue Gene/L, tek çip üzerinde sistem kavramıyla yapılabilecekleri temsil eden poster çocuğudur. Bu çipin yüzde 90'ından fazlası teknoloji kitaplığımızdaki standart bloklarla yapılmıştır." (Timothy Morgan, "IBM's Blue Gene/L Shows Off Minimalist Server Design," *The Four Hundred*, http://www.midrangeserver.com/tfh/tfh120103-story05.html). 2004 Haziranında Blue Gene/L'in prototip sistemleri ilk defa ilk on süper bilgisayar listesinde yer aldı. IBM basın bülteni, "IBM Surges Past HP to Lead in Global Supercomputing," http://www.research.ibm.com/bluegene.

böylelikle de 2025 yılı hedefini sekiz yıl kadar kısaltabilir. İnsan beyninin simülasyonunu oluşturacak farklı programlar da çok sayıda yineleme içerecek, bu nedenle uygulamaya özel tümleşik devrelerin kullanımına yatkın olacaktır. Örneğin beyincikte, temel bir kablo ağı örüntüsü milyarlarca kez yinelenmektedir.

Kişisel bilgisayarların gücünü internet üzerindeki, kullanılmayan aygıtların bilgi işlem gücünü kullanarak da artırabiliriz. "Örgüsel" bilgi işlem gibi yeni iletişim paradigmaları ağ üzerinde yer alan her aygıtı yalnızca bir "tel" yerine bir düğüm olarak ele almayı düşünür.[43] Bir başka deyişle, yalnızca düğümler üzerinden bilgi alıp veren (kişisel bilgisayarlar ve elektronik ajanda gibi) aygıtlar yerine, her aygıt kendi içinde bir düğüm gibi davranacak, tüm diğer aygıtlarla arasında bilgi alıp verecektir. Bu, çok sağlam, kendiliğinden düzenlenen iletişim ağlarını oluşturabilecektir. Ayrıca, bilgisayarlar ve diğer aygıtların, kullanılmayan aygıtların ana işlem birimlerinin döngülerini kendi örgü bölgelerine bağlamalarını kolaylaştıracaktır.

Şu anda internet üzerindeki tüm bilgisayarların toplam bilgi işleme kapasitesinin yüzde 99,9'u değilse bile en azından yüzde 99'u atıl durmaktadır. Bu bilgi işleme kapasitesinin etkin kullanımı, fiyat performansını 10^2 ya da 10^3 katı kadar artırılabilir. Bu nedenlerle, 2020 yılı dolaylarında insan beyninin kapasitesinin en azından donanım temelindeki bilgi işlem kapasitesi açısından bin dolar civarında olmasını beklemek akla yatkındır.

Bir kişisel bilgisayarda insanınkine eşdeğer bilgi işlem düzeyinin elde edilebilirliğinin hızlandırılmasını sağlayacak bir diğer

43 Bu tip ağ, eşten eşe, çoktan çoğa ve "çok atlamalı" olarak da adlandırılmaktadır. Bu tip ağdaki düğümler tüm diğer düğümlere ya da bir alt kümeye bağlanabilir, örgüsel düğümler sayesinde her varış noktasına giden çok sayıda yol oluşur. Bu ağlar son derece kolay uyum sağlayabilen ve kendiliğinden düzenlenen ağlardır. "Bir örgüsel ağın imzası, merkezi bir düzenleme aygıtının olmamasıdır. Onun yerine her düğüm, radyo iletişim düzeneğiyle donanmıştır ve diğer düğümler için aktarma noktası görevi görür." Sebastian Rupley, "Wireless: Mesh Networks," *PC Magazine*, 1 Temmuz 2003, http://www.pcmag.com/article2/0,1759,1139094,00.asp; Robert Poor, "Wireless Mesh Networks," Sensors Online, Şubat 2003, http://www.sensorsmag.com/articles/0203/38/main.shtml; Tomas Krag ve Sebastian Büettrich, "Wireless Mesh Networking," O'Reilly Wireless DevCenter, 22 Ocak 2004, http://www.oreillynet.com/pub/a/wireless/2004/01/22/wirelessmesh.htm.

yöntem, iç "analog" kiplerde transistör kullanımıdır. İnsan beynindeki çoğu süreç analogdur, sayısal değil. Her ne kadar sayısal bilgi işlemle analog süreçleri dilediğimiz her düzeyde taklit edebilsek de bunu yaparken verimlilikte birkaç büyüklük kertesini yitiririz. Tek bir transistör, analog düzeyler olarak gösterilen iki değeri birbiriyle çarpabilirken, bunu sayısal devrelerle yapmak binlerce transistör gerektirir. California Teknoloji Enstitüsünden Mead Carver bu kavramın öncülüğünü yapmaktadır.[44] Mead'in yaklaşımının bir dezavantajı, bu tür iç analog bilgi işleme için gereken teknik tasarım süresinin uzun olmasıdır. Beyin bölgelerini taklit eden yazılımları geliştiren çoğu araştırmacı da bu nedenle genellikle hızlı dönüş sağlayan yazılım simülasyonunu yeğlemektedirler.

İnsan Belleğinin Kapasitesi. Bilgi işlem kapasitesi, insanın bellek kapasitesiyle nasıl benzeşir? İnsanın bellek gereksinimine baktığımızda, benzer zaman dilimi tahminlerine ulaşırız. Belli bir alanda uzman bir kişinin üzerinde uzmanlaştığı bilgi "parçalarının" sayısı, çeşitli alanlar için yaklaşık 10^5'tir. Bu yığınlar, örüntüler (örneğin, insanların yüzleri) olabildiği gibi belirli bilgi de olabilir. Örneğin, dünya çapında bir satranç ustasının tahtanın üzerindeki yaklaşık 100.000 farklı pozisyonu çok iyi bildiği hesaplanmaktadır. Shakespeare 29.000 sözcük kullanmıştır ama bu sözcükleri toplamda 100.000'e yaklaşan farklı anlamlarıyla kullanmıştır. Tıbbın uzmanlaşan sistemleri, insanların bir alanda yaklaşık 100.000 kavramı öğrenebildiğini ortaya koymaktadır. Bu "profesyonel" bilginin, insanın sakladığı tüm örüntü ve bilginin yüzde 1'i olduğunu kabul eden bir hesapla 10^7'lik bir parça elde ederiz.

Benzer bilgi parçalarını kurala dayalı uzmanlık sistemleri ya da kendiliğinden düzenlenen örüntü tanıma sistemlerinde saklayabilen sistemlerin tasarımı üzerine yaptığım çalışmalardan

---

44 Yirmi beşten fazla şirketin kurucusu ve elliden fazla patentin sahibi olan Carver Mead, beyne ve sinir sistemine göre modellenen devreler üzerinde çalışan yeni bir alan olan nöromorfik elektronik sistemlerin öncüsüdür. *Bkz.* Carver A. Mead, "Neuromorphic Electronic Systems," *IEEE Proceedings* 78.10 (Ekim 1990): 1629–1636. Mead'in çalışması, bilgisayarda kullanılan dokunmalı tahletler ile sayısal işitme cihazlarında kullanılan koklea çiplerinin yapılmasının yolunu hazırlamıştır. 1999'da kurduğu Foveon adlı şirket, filmin özelliklerini örnek alan analog imge algılayıcıları yapmaktadır.

edindiğim deneyime dayanarak, bir insanın işlevsel belleğinin toplam 10^{13} (10 trilyon) bitlik kapasitesi için parça başına (örüntü ya da bilgi maddesi) 10^{6} bit, makul bir tahmindir.

Uluslararası Yarı İletken Teknolojisi Yol Haritasındaki (*bkz.* s. 47'de verilen RAM grafiği) tahminlere göre, aşağı yukarı 2018 yılına gelindiğinde, bin dolar karşılığında 10^{13} bitlik bellek satın alabileceğiz. Bu belleğin, insan beyninin elektrokimyasal bellek işlemlerinden milyonlarca kat daha hızlı olduğunu, bu nedenle de çok daha etkili olacağını düşünün.

İnsan belleğinin tek tek nöronlar arasındaki bağlantılar düzleminde modelini çıkarırsak da daha yüksek bir değer elde ederiz. Nöro-ileticilerin yoğunlukları ile bağlantı örüntülerini saklamak için yaklaşık 10^{4} bit gerekeceğini hesaplayabiliriz. Tahminen 10^{14} bağlantıyla bu değer 10^{18} bite (bir milyar kere milyar) çıkar.

Yukarıdaki çözümlemeye dayanarak, 2020 yılında insan beynini taklit eden donanımı yaklaşık bin dolara alabilmeyi beklemek akla yatkındır. Dördüncü bölümde irdeleyeceğimiz gibi bu işlevi kopyalayacak olan yazılım bir on yıl daha isteyecektir. Ancak, bu dönemde donanım teknolojimizin fiyat performansı, kapasitesi, hızı da üstel olarak büyüyeceği için, 2030 yılına gelindiğinde bin dolar değerindeki bilgi işlemin karşılığı bir köy dolusu (yaklaşık bin) insan beyni olacaktır. 2050 yılına gelindiğinde, bin dolar değerindeki bilgi işlem, dünyadaki tüm insan beyinlerinin işleme gücünü geçecektir. Bu hesap elbette yalnızca hâlâ biyolojik nöronları kullanan beyinleri hesaba katmaktadır.

İnsan nöronları olağanüstü tasarımlar olmakla birlikte, aynı yavaş yöntemi kullanan bilgi işlem devrelerini yapmayız (ve yapmıyoruz). Doğal seçilim yoluyla evrilen tasarımların, yaratıcılıklarına karşın, bizim tasarlayıp gerçekleştirebileceğimizin altında bir yeteneğe işaret eden birçok büyüklük kertesi vardır. Bedenimiz ve beynimiz üzerine ters mühendislik işlemleri uyguladıkça, doğal evrim sonucunda oluşan sistemlerimize benzer ama onlardan çok daha dayanıklı ve milyonlarca kez daha hızlı çalışabilen sistemler oluşturabilecek duruma geleceğiz. Elektronik devrelerimiz daha şimdiden bir nöronun elektrokimyasal süreçlerinin bir milyon katından büyük hızla çalışmakta, bu hızın ivmesi de artmaya devam etmektedir.

İnsanın bir nöronun karmaşıklığı, bilgi işleme yeteneklerine değil, daha çok yaşam desteği işlevlerine yöneliktir. Sonuçta, zihinsel süreçlerimizi bilgi işlemin daha uygun alt katmanlarına uyarlayarak taşımamız gerekecek. O zaman, belleğimiz bu kadar düşük kalmak zorunda olmayacaktır.

Bilgi İşlemin Sınırları

Çok verimli bir süper bilgisayar bir hava simülasyon problemi üzerinde tam gün çalıştığında, fizik yasalarına göre harcanması gereken minimum enerji miktarı ne olur? Yanıtın hesaplanması aslında son derece basittir; çünkü bu, bilgi işlem miktarına bağlı değildir. Yanıt her zaman sıfırdır.

—Edward Fredkin, Fizikçi[45]

Elimizde şimdiden, bilgi işlemin fiyat performansının ve yeteneklerinin üstel büyümesini sağlayan beş paradigma (elektromekanik hesap makineleri, röle tabanlı bilgi işleme, vakum tüpleri, ayrık transistörler ve tümleşik devreler) var. Ne zaman bir paradigma sınırına erişse, bir diğeri onun yerini almıştır. Bilgi işlemi moleküler üçüncü boyuta taşıyacak altıncı paradigmanın ana hatlarını şimdiden görebiliyoruz. Ekonomiden insan aklına ve yaratıcılığına kadar bizi ilgilendiren her şeyin temelinde bilgi işlem yattığına göre, şu soruyu sorabiliriz: Bilgi işlemin gerçekleşmesi için gereken madde ve enerji kapasitesinin sonunda varacağı bir sınır var mıdır? Eğer varsa, bu sınır nedir ve bu sınıra ulaşmamız ne kadar sürecektir?

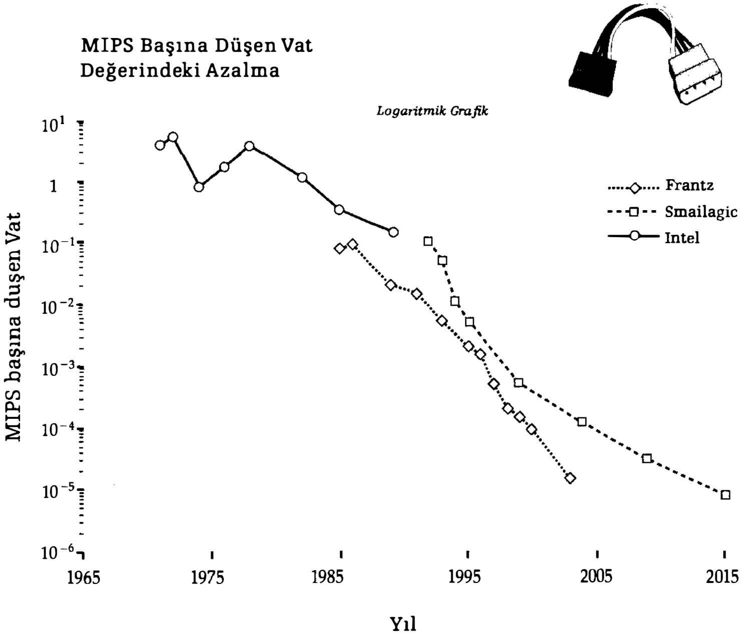
Biz insanların zekâsı, anlamaya çabaladığımız bilgi işlem süreçlerine dayanmaktadır. Sonuçta, çok daha büyük, biyolojik olmayan bilgi işlem kapasitelerini kullanarak ve insan zekâsının kullandığı yöntemleri uygulayıp geliştirerek zekâ gücümüzü katlayacağız. Yani, bilgi işlemin sonunda varabileceği sınırı düşünmek, gerçekte şu soruyu sormak demektir: Uygarlığımızın yazgısı nedir?

Bu kitapta ortaya konulan düşüncelerin gerçekleşmesinin önündeki genel engel, bu üstel eğilimlerin, tüm üstel eğilimlerde

45 Edward Fredkin, "A Physicist's Model of Computation," *Proceedings of the Twenty-sixth Recontre de Moriond, Texts of Fundamental Symmetries* (1991): 283–97, http://digitalphilosophy.org/physicists_model.htm.

olduğu gibi, sınırlarına erişmek zorunda olmalarıdır. Çok bilinen, Avustralya'daki tavşanların örneğinde olduğu gibi, bir canlı türü yeni bir doğal ortama girdiğinde, bu türün sayısı bir süre üstel olarak artar. Ancak, er ya da geç, bu doğal ortamın kendisini yaşatma kapasitesinin sınırına erişir. Kuşkusuz bilgi işleme süreci için de benzer sınırlar söz konusudur. Sonuçta, evet, bilgi işlemin fizik yasalarına dayanan sınırları vardır. Ama bu sınırlar, biyolojik olmayan zekânın üstel büyümesinin, çağdaş bilgisayarlar da dahil bugünün insan uygarlığının tamamından trilyonlarca kat daha büyük güce erişinceye kadar sürmesine izin verecektir.

Bilgi işlemin sınırlarının değerlendirilmesinde önemli bir etmen, enerji gereksinimidir. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, bilgi işlem aygıtlarında MIPS başına gereken enerji üstel olarak düşmektedir.[46]



46 Gene Frantz, "Digital Signal Processing Trends," *IEEE Micro* 20.6 (Kasım/Aralık 2000): 52–59, http://csdl.computer.org/comp/mags/mi/2000/06/m6052abs.htm.

Bununla birlikte, bilgi işlem aygıtlarının MIPS sayısının üstel olarak artmakta olduğunu da biliyoruz. Enerji kullanımındaki gelişimin işlemcilerin hızına ayak uydurabilmesi, paralel işlemeyi kullanımımıza bağlıdır. Bilgi işlemin daha geniş bir alana yayılmasıyla, daha az güçlü çok sayıda bilgisayar doğal olarak daha serin çalışabilmektedir. İşlemci hızı voltaja bağlıdır, gereken enerji de bu voltajın karesiyle orantılıdır. Yani, bir işlemcinin daha düşük hızla çalışması güç tüketimini büyük ölçüde azaltır. "MIPS Başına Düşen Vat Değerindeki Azalma" grafiğinin gösterdiği gibi, daha hızlı tek işlemciler yerine paralel işleme daha fazla yatırım yapmamız, enerji tüketimi ve ısı kaybı açısından dolar başına düşen MIPS sayısındaki artışa ayak uydurabilmek için daha uygun olacaktır.

Bu, biyolojik evrimin hayvan beyni için geliştirdiği çözümün temelde aynısıdır. İnsan beyni yaklaşık yüz trilyon bilgisayar kullanır (işlemlerin büyük bölümünü gerçekleştiren, nöronlar arasındaki bağlantılar). Ancak bu işlemcilerin bilgi işleme gücü oldukça düşüktür, bu nedenle de görece daha serin çalışırlar.

Kısa süre öncesine kadar Intel, giderek hızlanmakla beraber giderek artan ısıyla çalışan tek çipli işlemcilerin geliştirilmesine önem veriyordu. Şimdi ise stratejisini tek çip üzerine birkaç işlemci koyarak, giderek paralelleme yönüne kaydırmaktadır. Çip teknolojisinin, güç gereksiniminin ve ısı kaybının kontrol altında tutulabilmesinin yolu olarak, bu yönde ilerlediğini göreceğiz.[47]

Tersinir Bilgi İşlem. Bilgi işlemin, insan beyninde olduğu gibi yoğun paralel işlemeyle düzenlenmesi, sonuçta enerji düzeylerinin korunması için tek başına yeterli olmayacak, aşırı olmayan seviyelerde ısıl kaybına neden olacaktır. Güncel bilgisayar paradigması, tersinemez bilgi işlem olarak bilinen bilgi işleme dayanır. Bu, yazılım programlarını ilkesel olarak tersinden çalıştıramamamız anlamına gelmektedir. Bir programın ilerleyişinin her adımında, girdi verileri atılır –silinir– ve bilgi işlemin sonuçları bir sonraki adıma aktarılır. Programlar genel olarak, bellekte ge-

47 Bugüne kadar bilinen en hızlı tek işlemcilerin ürettiği aşırı ısıyla oluşan "ısıl duvarına" (ya da "güç duvarı") ulaşan Intel, 2004 yılında çift çekirdek (tek çip üzerinde birden fazla işlemci) mimarisini hedefleyen önemli bir değişikliği açıkladı: http://www.intel.com/employee/retiree/circuit/righthandturn.htm.

reksiz biçimde çok fazla yer kaplayacağından, bulunan ara sonuçların tümünü saklamazlar. Girdi bilgilerinin seçilerek silinmesi işlemi, özellikle örüntü tanıma sistemleri için geçerlidir. Örneğin, görme sistemleri, ister insanda olsun ister makinede, (gözler ya da görsel algılayıcılar yoluyla) çok yüksek oranda girdi alırlar, ama yine de görece yoğunlaştırılmış çıktılar (örneğin, tanıdıkları örüntülerin seçilmesi) üretirler. Verilerin bu şekilde silinmesi ısı üretir, bu nedenle de enerji gerektirir. Bir bit bilgi silindiğinde bu bilginin bir yere gitmesi gerekir. Termodinamik yasalarına göre silinen bit temel olarak çevreye bırakılır, böylece entropisini artırır. Bu da bir ortamdaki (fiilen düzenlenmemiş bilgi dahil) bilginin ölçümü olarak görülebilir. Bu, ortamda daha yüksek ısıya neden olur (çünkü ısı, entropinin bir ölçüsüdür).

Diğer yanda, eğer bir algoritmanın her adımında girdinin içerdiği her bilgi bitini silmez, onun yerine başka bir yere taşırsak, o bit bilgisayarda kalır; bu şekilde ortama yayılmayacağından ısı üretmez ve bilgisayara dışarıdan enerji gerektirmez.

Rolf Landauer 1961 yılında, DEĞİL (bir bitin tersine çevrilmesi) gibi tersinir mantık işlemlerinin içeri enerji almadan ya da dışarı ısı vermeden gerçekleştirilebildiğini, buna karşılık (ancak ve ancak A girdisi ve B girdisinin 1 olmaları durumunda 1 olan C bitini üreten) VE gibi tersinemez mantık işlemlerinin enerji gerektirdiğini gösterdi.[48] 1973'te ise Charles Bennett, yalnızca tersinir mantık işlemleri kullanarak her tür bilgi işlemin gerçekleştirilebileceğini gösterdi.[49] On yıl sonra, Ed Fredkin ile Tommaso Toffoli tersinir bilgi işlem düşüncesini kapsamlı biçimde yeniden ele aldılar.[50] Temel düşünce, tüm ara sonuçları saklar, hesaplarınızı

48 R. Landauer, "Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process," IBM Journal of Research Development 5 (1961): 183–191, http://www.research.ibm.com/journal/rd/053/ ibmrd0503C.pdf.

49 Charles H. Bennett, "Logical Reversibility of Computation," *IBM Journal of Research Development* 17 (1973): 525–532, http://www.research.ibm.com/journal/rd/176/ibmrd1706G.pdf; Charles H. Bennett, "The Thermodynamics of Computation—a Review," International Journal of Theoretical Physics 21 (1982): 905–940; Charles H. Bennett, "Demons, Engines, and the Second Law," Scientific American 257 (Kasım 1987): 108–116.

50 Edward Fredkin ve Tommaso Toffoli, "Conservative Logic," *International Journal of Theoretical Physics* 21 (1982): 219–53, http://digitalphilosophy.org/download_documents/ConservativeLogic.pdf. Edward Fredkin, "A Phy-

tamamlayınca da algoritmayı tersine çalıştırırsanız, başladığınız yere döneceğiniz, enerji kullanmamış, ısı üretmemiş olacağınızdır. Ancak, bu arada algoritmanın sonuçlarını da hesaplamış olursunuz.

Bir Kaya Parçası Ne Kadar Akıllıdır? Enerjisiz, ısısız bilgi işlemin olabilirliğini değerlendirebilmek için, sıradan bir kaya parçasında gerçekleşen bilgi işlemi düşünün. Bir kaya parçasının içinde pek fazla bir şey olmuyormuş gibi görünebilmekle birlikte, bir kilogram maddenin içerdiği yaklaşık 10^{25} (on trilyon kere trilyon) atom, gerçekte son derece aktiftir. Açıkça katı bir nesne olmasına karşın bir kaya parçasının bütün atomları devinir, elektron alışverişinde bulunur, parçacıkların dönüşünü değiştirir, hızlı devinen elektromanyetik alanlar oluştururlar. Çok anlamlı biçimde düzenlenmiş olmasa da bu etkinliğin tümü bilgi işlemi gösterir.

Atomların, nükleer manyetik rezonans aygıtlarıyla kurulan bilgi işlem sistemlerinde olduğu gibi, atom başına bir bitten fazla yoğunluktaki bilgiyi saklayabildiğini daha önce göstermiştik. Oklahoma Üniversitesi araştırmacıları, on dokuz hidrojen atomu içeren tek bir molekülün protonları arasındaki manyetik etkileşimde 1024 bit depolayabilmişlerdir.[51] Kaya parçasının herhangi bir andaki durumu, bu nedenle en az 10^{27} bit belleğe sahiptir.

Bilgi işlem açısından ve yalnızca elektromanyetik etkileşimler göz önünde bulundurulduğunda, yaklaşık 1 kilogramlık bir kaya parçasının içinde bit başına saniyede en az 10^{15} durum değişikliği oluşmaktadır, bu da, saniyede yaklaşık 10^{42} (bir milyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon) işlem demektir. Ama kaya parçası yine de herhangi bir enerji girdisi gerektirmez, fark edilir ısı da yaymaz.

Atom düzeyindeki bu etkinliklere karşın, bir kaya parçası belki kâğıtların uçmasını önlemek için kullanılan bir ağırlık ya da bir süs olmaktan başka bir işe yaramaz. Bunun nedeni, kaya parçasındaki çoğu atomun yapısının rastgele olmasıdır. Diğer yanda,

---

sicist's Model of Computation," *Proceedings of the Twenty-sixth Recontre de Moriond, Texts of Fundamental Symmetries* (1991): 283–297, http://www.digitalphilosophy.org/physicists_model.htm.

51 Knight, "Digital Image Stored in Single Molecule," Khitrin vd, "Nuclear Magnetic Resonance Molecular Photography,"ye atıf; *bkz.* yukarıdaki 30. not.

eğer parçacıkları daha yararlı biçimde düzenleyecek olsak, yaklaşık bin trilyon kere trilyon bitlik belleğe ve saniyede 10^{42} işlem kapasitesine sahip, ısınmayan, sıfır enerji tüketen bilgisayar elde edebilirdik. Bu da en tutucu (en yüksek) tahmin olan 10^{19} cps değerini de kullansak, dünyadaki tüm insan beyinlerinden on trilyon kat daha güçlüdür.[52]

Ed Fredkin, bir sonuca ulaştıktan sonra algoritmaları tersinden yürütmekle uğraşmamıza bile gerek olmadığını gösterdi.[53] Fredkin, işlemi yürütürken aynı işlemi tersi yönde de çalıştırabilen, evrensel, yani genel amaçlı bilgi işlemin oluşturulmasında kullanılabilecek tersinir mantık geçitlerinin değişik tasarımlarını ortaya koydu.[54] Daha ileri giderek, tersinir mantık geçitleriyle yapılan bir bilgisayarın verimliliğinin, tersinemez geçitlerle yapılan bilgisayarların verimliliğine çok yakın (en az yüzde 99) tasarlanabileceğini de gösterdi. Fredkin şöyle yazar:

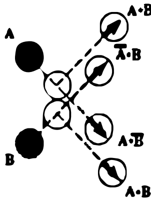
> Temel bileşenleri mikroskobik düzeyde tersinme farklılığına sahip geleneksel bilgisayar modelleri ... yapmak ...

---

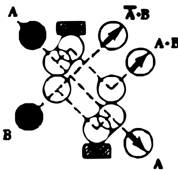
52 Her biri 10^{19} cps olan on milyar (10^{10}) insan hesabıyla tüm insanların beyni 10^{29} cps eder; 10^{42} cps bundan on trilyon (10^{13}) kat daha fazladır.

53 Fredkin, "Physicist's Model of Computation," *bkz.* yukarıdaki 45. ve 50. notlar.

54 Bu tür geçitlerden ikisi, iki girdili, dört çıktılı evrensel, tersinir mantık geçidi olan Etkileşim Geçidi



ile, iki girdili, üç çıktılı tersinir, evrensel mantık geçidi olan Feynman Geçididir.



Her iki imge: *Age.*, s. 7.

mümkündür. Bu, bilgisayarın makro düzeydeki çalışmasının da tersinebileceği anlamına gelir. Bu, bizim ... "Bir bilgisayarın en üst düzeyde verimliliğe erişmesi için ne gereklidir?" sorusunu ... ele alabilmemizi sağlar. Sorunun yanıtı, mikroskobik düzeyde tersinir bileşenlerle yapılırsa bir bilgisayarın mükemmel verimliliğe sahip olabileceğidir. Kusursuz biçimde verimli bir bilgisayarın bir işlemi yürütebilmesi için ne kadar enerji harcaması gerekir? Yanıt, bilgisayarın enerji harcamasına gerek olmadığıdır.[55]

Tersinir mantık çoktan kanıtlanmıştır, bu yolla da enerji girdisi ile ısı kaybında beklenen düşüşler görülebilmektedir.[56] Fredkin'in tersinir mantık geçitleri, tersinir bilgi işlem düşüncesinin önündeki farklı bir programlama biçemi gerekliliği sorununa çözüm üretir. Fredkin, tamamen tersinir mantık geçitlerini kullanarak aslında, var olan geleneksel yazılım geliştirme yöntemlerini kullanabilmemizi sağlayan normal mantık ve bellekler oluşturabileceğimizi öne sürer.

Bu görüşün önemini olduğundan fazla göstermek zordur. Tekilliğe ilişkin kilit gözlemlerden biri, sonuçta bilgi süreçlerinin –bilgi işlemin– önemli olan her şeyi önüne katıp götüreceğidir. Geleceğin teknolojisinin bu ana temeli bu nedenle enerji gerektirmez gibi görünmektedir.

Uygulamadaysa işler biraz daha karışıktır. Aslında bir bilgi işlemin sonucunu bulmak istediğimizde –yani bilgisayardan bir bilgi çıktısı almak istediğimizde– yanıtın kopyalanıp bilgisayarın dışına gönderilmesi tersinemez bir işlemdir, gönderilen her bit, karşılığında ısı üretir. Bununla birlikte, ilgili çoğu uygulamada, bir algoritmanın yürütülmesi için girilen bilgi işlem miktarı, sonuç yanıtların bildirilmesi için gereken bilgi işlem miktarından çok daha fazladır. Bu nedenle ikincisi, enerji denklemini çok fazla değiştirmez.

---

55 *Age.*, s. 8.

56 C. L. Seitz vd, "Hot-Clock nMOS," *Proceedings of the 1985 Chapel Hill Conference on VLSI* (Rockville, Md.: Computer Science Yayınları, 1985), s. 1–17, http://caltechcstr.library.caltech.edu/archive/00000365; Ralph C. Merkle, "Reversible Electronic Logic Using Switches," *Nanotechnology* 4 (1993): 21–40; S. G. Younis ve T. F. Knight, "Practical Implementation of Charge Recovering Asymptotic Zero Power CMOS," *Proceedings of the 1993 Symposium on Integrated Systems* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1993), s. 234–250.

Ancak, temelde rastgele olan ısıl etkiler ve kuantum etkileri nedeniyle mantık işlemleri doğal bir hata payına sahiptirler. Hata sezim ve hata düzeltim kodları kullanarak hataların üstesinden gelebiliriz, ama her bir biti düzelttiğimizde işlem tersinemez olur, bu da enerji gereksinimi ve ısı üretimi demektir. Hata payı genelde düşüktür. Ama hatalar her 10^{10} işlemde bir hata oranıyla bile ortaya çıksa, bu enerji gereksinimini ancak 10^{10} oranında azaltmayı başardığımız ve enerji kaybını bütünüyle ortadan kaldıramadığımız anlamına gelir.

Bilgi işlemin sınırlarını düşündükçe hata oranı önemli bir tasarım konusu haline gelmektedir. Bilgi işlem hızının artırılması için kullanılan parçacıkların salınım frekansının artırılması gibi bazı yöntemler de hata oranlarını yükseltir, bu da madde ve enerji kullanarak bilgi işleme yeteneğinin doğal sınırlarını belirler.

Bu noktada konuyla ilgili bir diğer önemli eğilim de geleneksel pillerin terk edilip küçük yakıt hücrelerine (var olan oksijenle birleşen hidrojen biçimleri gibi enerjiyi kimyasallarda depolayan aygıtlar) yöneliştir. Yakıt hücreleri daha şimdiden, MEMS (Mikro–Elektro–Mekanik Sistemler) teknolojisi kullanılarak yapılmaya başlandı.[57] Biz nano ölçekli özelliklere sahip üç boyutlu moleküler bilgi işleme doğru yol aldıkça, nano yakıt hücreleri biçimindeki enerji kaynakları da yoğun paralel işlemciler arasında, bilgi işleme ortamlarında yaygınlaşacaktır. Geleceğin nano teknoloji tabanlı enerji teknolojilerini beşinci bölümde ele alacağız.

Nano ölçekli Bilgi İşlemin Sınırları. Bilgisayarların sonuçta gelebileceği sınırın çıtası, ele aldığımız bu kısıtlamalarla bile son derece yüksektir. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü profesörlerinden Seth Lloyd, Berkeley'deki California Üniversitesi profesörlerinden Hans Bremermann ile nano teknoloji kuramcısı Robert Freitas'ın çalışmalarına dayanarak, "son dizüstü bilgisayar" olarak nitelediği, bir kilogram ağırlığında ve bir litre hacmindeki bir

57 Hiawatha Bray, "Your Next Battery," Boston Globe, 24 Kasım 2003, http://www.boston.com/business/technology/articles/2003/11/24/your_next_battery.

bilgisayarın –hemen hemen küçük bir dizüstü bilgisayar büyüklüğü ve ağırlığında– bilinen fizik yasalarına göre maksimum bilgi işleme kapasitesini hesaplamıştır.[58] Potansiyel bilgi işlem miktarı, elde edilebilen enerji miktarına göre artar. Enerji ile bilgi işleme kapasitesi arasındaki bağlantıyı şöyle düşünebiliriz: Belli bir miktardaki maddenin içerdiği enerji, her atomun (ve atomaltı parçacığın) enerjisine bağlıdır. Yani ne kadar çok atom varsa o kadar çok enerji vardır. Yukarıda irdelendiği gibi, her atom potansiyel olarak bilgi işlemede kullanılabilir. Yani, ne kadar çok atom varsa o kadar çok bilgi işlem yürütülebilir. Her atomun ya da parçacığın enerjisi, gösterdiği devinimin frekansıyla artar: Devinim arttıkça enerji artar. Aynı ilişki, potansiyel bilgi işleme için de geçerlidir: Devinimin frekansı ne kadar yüksekse, her bileşen (bu bir atom olabilir) o kadar fazla bilgi işlem yürütebilir. (Bunu günümüzdeki çiplerde görüyoruz: Çipin frekansı ne kadar yüksekse bilgi işleme hızı o kadar yüksektir.)

Yani, bir nesnenin enerjisi ile bilgi işlem yürütme potansiyeli arasındaki ilişki doğru orantılıdır. Einstein'ın $E=mc^2$ denkleminden bildiğimiz gibi, bir kilogram maddenin içindeki potansiyel enerji çok büyüktür. Işık hızının karesi çok büyük bir sayıdır, yaklaşık 10^{17} m^2/saniye^2. Maddenin bilgi işleme potansiyeli de çok küçük bir sayı olan Planck sabitiyle belirlenmektedir: 6,6 x 10^{-34} jul/saniye (jul bir enerji ölçüsüdür). Bu, bilgi işleme enerji uygulayabileceğimiz en küçük ölçektir. Bir nesnenin kuramsal bilgi işleme sınırını hesaplamak için toplam enerjiyi (her atom ya da parçacığın ortalama enerjisinin parçacık sayısıyla çarpımı) Planck sabitine böleriz.

---

58 Seth Lloyd, "Ultimate Physical Limits to Computation," *Nature* 406 (2000): 1047–54.
Bilgi işlemin sınırları üzerine ilk çalışmalar 1962 yılında Hans J. Bremermann tarafından yapılmıştır: Hans J. Bremermann, "Optimization Through Evolution and Recombination," *Self-Organizing Systems* içinde, yay. haz. M. C. Yovits, C. T. Jacobi, C. D. Goldstein (Washington, D.C.: Spartan Books, 1962), s. 93–106.
1984'te Robert A. Freitas Jr. kendi çalışmalarını Bremermann'ın çalışmalarının üzerine kurmuştur: Robert A. Freitas Jr., "Xenopsychology," *Analog* 104 (Nisan 1984): 41–53, http://www.rfreitas.com/Astro/Xenopsychology.htm#SentienceQuotient.

Lloyd, bir kilogram maddenin potansiyel bilgi işleme kapasitesinin pi çarpı enerji bölü Planck sabitine eşit olduğunu ortaya koyar. Enerji bu kadar yüksek, Planck sabiti de bu kadar küçük bir sayı olduğu için bu denklemin sonucunda çok büyük bir sayı elde edilir: Saniyede yaklaşık 5 x 10^{50} işlem.[59] Bu rakamı insan beyninin kapasitesinin en tutucu tahminle (10^{19} cps ve 10^{10} insan) ilişkilendirirsek, yaklaşık beş milyar kere trilyon insan uygarlığına karşılık gelen bir değer elde ederiz.[60] İnsan zekâsının işlevsel taklidi için yeterli olduğunu düşündüğüm 10^{16} cps değerini kullanırsak, yapılabilecek son dizüstü bilgisayar, beş trilyon kere trilyon insan uygarlığının beyin gücüne denk bir güçle çalışabilecektir.[61] Böyle bir bilgisayar son on bin yıldaki toplam insan düşüncesinin tamamını (bu, on milyar insan beyninin on bin yıl boyunca çalışması demektir) bir nanosaniyenin on binde biri kadar sürede işleyebilir.[62]

Burada da dikkat edilmesi gereken birkaç nokta vardır. Bir kilogramlık dizüstü bilgisayarımızın kütlesinin tamamının enerjiye çevrilmesi, temelde, bir termonükleer patlamada olan şeyle aynıdır. Dizüstü bilgisayarımızın patlamamasını, bir litrelik boyutuyla kalmasını isteriz tabii ki. Yani bu, en azından dikkatli paketleme gerektirecektir. Lloyd, böyle bir aygıtın maksimum entropisinin (tüm parçacıkların durumuyla gösterilen serbestlik derecesi) çözümlemesini yaparak bize, böyle bir bilgisayarın 10^{31} bitlik kuramsal belleği olabileceğini göstermektedir. Bütün

---

59 π x maksimum enerji (10^{17} kg x metre^2/saniye^2) / (6,6 x 10^{-34}) jul Saniye ≒ ~ 5 x 10^{50} işlem/saniye.

60 5 x 10^{50} cps, (her biri 10^{29} cps gerektiren) 5 x 10^{21} (5 milyar trilyon) insan uygarlığına eşittir.

61 Her biri 10^{16} cps'ten on milyar (10^{10}) insan, 10^{26} cps insan uygarlığıdır. Yani, 5 x 10^{50} cps, 5 x 10^{24} (5 trilyon kere trilyon) insan uygarlığına eşittir.

62 Bu hesap, tutucu bir yaklaşımla, son on bin yılda on milyar insanın yaşamış olduğunu varsayar ancak böyle olmadığı bilinmektedir. Gerçekte yeryüzündeki insan sayısı geçmişten günümüze giderek artarak, 2000 yılında 6,1 milyara ulaşmıştır. Bir yılda 3 x 10^7 saniye vardır, bu on bin yılda 3 x 10^{11} saniye eder. Böylelikle, insan uygarlığı için 10^{26} cps değerini kullanırsak, son on bin yılda gerçekleşen insan düşüncesi, tabii ki 3 x 10^{37} işlemden fazla olmayacaktır. Yapılabilecek sonul dizüstü bilgisayar saniyede 5 x 10^{50} işlem yürütmektedir. Böylece, on bin yıl boyunca gerçekleşen on milyar insan düşüncesinin kopyalanması yaklaşık 10^{13} saniye sürecektir, bu da bir nanosaniyenin on binde birine eşittir.

aşamalardan geçip bu sınırlara ulaşacak teknolojileri zihnimizde canlandırmak zordur. Ama buna anlaşılır biçimde yaklaşan teknolojileri kolaylıkla öngörebiliriz. Oklahoma Üniversitesinin projesinin ortaya koyduğu gibi, atom başına en az elli bitlik bilgi saklama yeteneğini (şu ana kadar yalnızca az sayıda atom üzerinde de olsa) şimdiden kanıtladık. Bu nedenle bir kilogram maddede bulunan 10^{25} atomun içinde 10^{27} bit bellek saklamak, eninde sonunda gerçekleşecektir.

Ancak bilgi saklamak için her atomun birçok özelliğinden yararlanılabileceğine göre –tam yeri, dönüşü, tüm parçacıklarının kuantum konumu gibi– bir olasılıkla 10^{27} bitten daha iyisini yapabiliriz. Sinirbilim uzmanı Anders Sandberg, bir hidrojen atomunun potansiyel saklama kapasitesini yaklaşık dört milyon bit olarak hesaplamıştır. Bu yoğunluklar henüz kanıtlanmamış oldukları için, biz burada daha tutucu olan değeri kullanacağız.[63] Yukarıda irdelendiği gibi, önemli miktarda ısı üretmeden saniyede 10^{42} işlem yürütülmesi mümkündür. Bütünüyle tersinir bilgi işlem teknikleriyle düşük hata payı olan tasarımları kullanıp kabul edilir miktarda enerji kaybına izin verdiğimizde, saniyede 10^{42} ile 10^{50} işlem arasında bir sonuç almamız gerekir.

Bu iki sınırın arasındaki tasarım alanı karmaşıktır. 10^{42}'den 10^{50}'ye doğru ilerledikçe karşımıza çıkacak konuların incelenmesi, kitabın bu bölümünün kapsamı ötesindedir. Ancak, hedef sınır olan 10^{50}'den başlayıp çeşitli uygulama yaklaşımlarıyla geriye doğru çalışarak bunun yapılamayacağını unutmamamız gerekir. Teknoloji bunun aksine, bir sonraki düzeye geçmek için daima en yeni yeteneklerini kullanarak hız kazanacaktır. Böylelikle, (her 1 kg için) 10^{42} cps'e sahip bir uygarlığa ulaştığımızda da, o dönemin bilim insanları ve mühendisleri doğal olarak muazzam bir kapasiteye sahip, biyolojik olmayan zekâlarını kullanarak 10^{43} cps'e, ardından 10^{44} cps'e, vs. ulaşmanın yollarını arayacaklardır. Ben, son sınıra çok yaklaşabileceğimizi düşünüyorum.

Bir kilogramlık "tamamen taşınabilir bir bilgisayar" 10^{42} cps'de bile son on bin yılın tüm insan düşüncesine eşdeğer kapasitedeki

63 Anders Sandberg, "The Physics of the Information Processing Superobjects: Daily Life Among the Jupiter Brains," *Journal of Evolution & Technology* 5 (22 Aralık 1999), http://www.transhumanist.com/volume5/Brains2.pdf.

(on bin yılda on milyar insan beyni olduğunu varsayarak) işlemi on mikrosaniyede gerçekleştirebilecektir.[64] "Bilgi İşlemin Üstel büyümesi" grafiğini (s. 55) incelersek, bu bilgi işlem miktarının 2080 yılında bin dolar karşılığında elde edilebileceğini öngörebiliriz.

Yoğun paralel, tersinir bilgisayarın daha tutucu ancak daha ilgi çekici bir tasarımı, Eric Drexler'in tamamen mekanik, patentli nanobilgisayar tasarımıdır.[65] Bu tasarımda, bilgi işlem, yaylarla kaplı, yönlendirici nano ölçekli çubuklarla yürütülmektedir. Her hesap işleminden sonra, ara değerleri içeren çubuklar ilk konumlarına dönerler, böylece tersinir bilgi işlem uygularlar. Bu aygıtın, bir trilyon (10^{12}) işlemcisi vardır ve toplam 10^{21} cps'lik hızla çalışır, bu da bir santimetreküpte yüz bin insan beyninin simülasyonuna yeterlidir.

Tekillik Tarihinin Belirlenmesi. Daha alçakgönüllü ama yine de önemli bir eşiğe çok daha erken ulaşılacaktır. 2030'ların başlarında bin dolar değerindeki bilgi işleme karşılık yaklaşık 10^{17} cps (uygulamaya özel tümleşik devre kullanıp, internet yoluyla dağıtık bilgi işlemden yararlanarak belki de 10^{20} cps dolayında) satın alınabilecektir. Bugün, bilgi işlem için her yıl 10^{11} dolardan (100 milyar dolar) fazla harcıyoruz. Bu, tutucu bir hesapla 2030 yılında 10^{12} dolara (1 trilyon dolar) çıkacaktır. Yani, 2030'ların başlarında, yılda yaklaşık 10^{26} ile 10^{29} cps arasında biyolojik olmayan bilgi işlem üreteceğiz. Bu, kabaca, yaşayan biyolojik insan zekâsının toplam kapasitesiyle ilgili hesabımıza eşittir.

Beyinlerimize yalnızca kapasite açısından eşit olsa bile, zekâmızın biyolojik olmayan bu bölümü daha güçlü olacaktır; çünkü insan zekâsının örüntü tanıma gücünü makinelerin bellek –ve beceri– paylaşımı yeteneği ve bellek keskinliğiyle birleştirecektir. Biyolojik olmayan bölüm her zaman kapasitesinin doruğunda çalışacaktır. Bu, günümüzün biyolojik insanlığının durumundan çok farklıdır; çünkü biyolojik insan uygarlığının sahip olduğu 10^{26} cps verimsiz kullanılmaktadır.

---

64 *Bkz.* yukarıdaki 62. not. 10^{42} cps, 10^{50} cpsten 10–8 kat daha azdır, yani bir nanosaniyenin on binde biri 10 mikrosaniyedir.

65 Drexler'in yayınları ile patentlerinin listesi için *bkz.* http://e-drexler.com/p/04/04/0330drexPubs.html.

İnsanın yeteneklerinde temel ve şiddetli bir dönüşümü temsil edecek olan Tekilliği 2045 yılına tarihliyorum. Bu tarihte yaratılacak biyolojik olmayan zekâ, günümüzün insan zekâsının tamamından bir milyar kat daha güçlü olacaktır.

Bilgi işlemin 2030'ların başlarındaki durumu bizi yine de Tekilliğe ulaştırmayacaktır; çünkü zekâmızın köklü bir biçimde gelişimini henüz karşılamamaktadır. Ancak 2040'ların ortalarına gelindiğinde, bin dolar karşılığında alınabilecek bilgi işlemin değeri 10^{26} cps'e eşit olacak, böylelikle her yıl (toplam 10^{12} dolarlık maliyetle) oluşturulan zekâ, günümüzün tüm insan zekâsının toplamından yaklaşık bir milyar kat daha güçlü olacaktır.[66]

Bu, gerçekten de köklü, insanın yeteneklerinde temel ve şiddetli bir dönüşümü temsil edecek bir değişim *olacağı için* Tekilliği 2045 yılına tarihliyorum. Bu yıl yaratılacak biyolojik olmayan zekâ, günümüzün insan zekâsının tamamından bir milyar kat daha güçlü olacaktır.

Her ne kadar biyolojik olmayan zekâ 2040'ların ortalarında belirgin biçimde ağır basacaksa da, bizim zekâmız hâlâ insan uygarlığının zekâsı olacaktır. Biyolojiyi aşacağız, insanlığımızı değil. Bu konuyu yedinci bölümde yeniden ele alacağım.

Bilgi işlemin fiziksel sınırlarına dönersek, yukarıdaki hesaplamalar, tanıdık bir biçim faktörü olduğundan, dizüstü bilgisayarlara göre ifade edilmiştir. Ancak, bu yüzyılın ikinci on yılına gelindiğinde çoğu bilgi işlem bu tür dikdörtgen biçimli aygıtlarda düzenlenmeyecek, büyük ölçüde ortamın içinden dağıtılacaktır. Bilgi işlem her yerde olacaktır: Duvarda, mobilyalarımızda, giysilerimizde, bedenimizde ve beyinlerimizde.

Ve tabii ki, insan uygarlığı yalnızca birkaç kilogramlık maddeye bağlı bilgi işlemle sınırlı kalmayacaktır. Altıncı bölümde dün-

66 10^{12} dolar bedel ve bin dolar (10^3 dolar) başına 10^{26} cps üzerinden, 2040'ların ortalarında 10^{35} cps elde ederiz. Bunun, insan uygarlığının tüm biyolojik düşüncesi için 10^{26} cps değerine oranı 10^9'dur (bir milyar).

ya boyutundaki bir gezegenin bilgi işleme potansiyeliyle güneş sistemleri, gökadalar ve bilinen evrenin bütünü ölçeğinde bilgisayarları inceleyeceğiz. Göreceğimiz gibi, insan uygarlığımızın gezegenimizin ötesine, evrene geçen bilgi işlem –ve zekâ– ölçeklerine erişebilmesi için gereken süre, düşünebileceğinizden çok daha kısa olabilir.

Bellek ve Bilgi İşlem Verimliliği: Bir Kaya Parçası ve Bir İnsan Beyni. Madde ve enerjinin bilgi işlem yürütebilmelerindeki sınırları unutmadan, bir nesnedeki bellek verimliliği ile bilgi işleme verimliliği yararlı ölçümler olarak gösterilebilir. Bunlar, bir nesnede yer alan ve gerçek bir yararı olan bellek ve bilgi işlemin parçaları olarak tanımlanır. Ayrıca, eşdeğerlik ilkesini de dikkate almamız gerekir: Bilgi işlem ne kadar yararlı olsa da, eğer aynı sonuçlar daha basit bir yöntemle elde edilebiliyorsa, bilgi işlemi bu daha basit algoritma açısından değerlendirmeliyiz. Bir başka deyişle, eğer iki yöntem aynı sonucu veriyor, ama biri diğerinden daha fazla bilgi işlem kullanıyorsa, bilgi işlem açısından daha yoğun olan yöntemin daha az bilgi işlem kullanan diğer yöntemle aynı miktarda bilgi işlem kullandığı kabul edilir.[67] Bu karşılaştırmaların amacı, biyolojik evrimin, hiç zekâsı olmayan sistemlerden (yani, herhangi bir *yararlı* bilgi işlem yürütmeyen sıradan bir kaya parçası), maddenin, bir amaca hizmet eden bu sonul bilgi işlem yeteneğine erişinceye kadar ne kadar yol alabildiğini değerlendirmektir. Biyolojik evrim bizi yolun yarısına kadar getirmiştir, (daha önce işaret ettiğim gibi biyolojik evrimin devamı olan) teknolojik evrim de bizi bu sınırlara çok yaklaştıracaktır.

67 1984'te Robert A. Freitas, bir sistemin bilgi işlem kapasitesine dayanan logaritmik bir ölçek olan "sezgi zekâsını" (SQ) ortaya atmıştır. Eksi 70 ile 50 arasında değişebilen bir ölçekte insan beyinlerinin sezgi zekâsı 13'tür. Süper bilgisayar Cray 1'in sezgi zekâsı 9'dur. Freitas'ın sezgi zekâsı, birim kütle başına düşen bilgi işlem miktarına dayanır. Basit bir algoritmaya sahip çok hızlı bir bilgisayar yüksek bir zekâ düzeyi verir. Bu bölümde aktardığım bilgi işlem ölçümü, Freitas'ın sezgi zekâsının üzerine kurulur ve bilgi işlemin yararlılığını dikkate almaya çalışır. Yani, eğer daha basit bir bilgi işlem, yürütülmekte olan bilgi işleme denk ise, o zaman bilgi işlem verimliliğini denk (daha basit) olan bilgi işleme dayandırırız. Ayrıca, benim ölçümümde, yürütülen bilgi işlemin "yararlı" da olması gereklidir. Robert A. Freitas Jr., "Xenopsychology," *Analog* 104 (Nisan 1984): 41–53, http://www.rfreitas.com/Astro/Xeno psychology.htm#SentienceQuotient.

Bir kilogramlık bir kaya parçasının atomlarının konumlarında 10^{27} bitlik bir tür bilgi kodlanmış olduğunu ve parçacıklarının devinimleriyle yaklaşık 10^{42} cps oluştuğunu anımsayın. Sıradan bir taştan söz ettiğimize göre, bu taşın yüzeyinin yaklaşık bin bit saklayabildiğini varsaymak gelişigüzel ama cömert bir tahmindir.[68] Bu, kuramsal kapasitesinin ya da bellek etkinliğinin 10^{-24}'ünü oluşturur.[69]

Bilgi işlem yürütmek için bir taşı da kullanabiliriz. Örneğin, taşı belli bir yükseklikten bırakır, bir nesnenin o yükseklikten yere inmesi için gereken süreyi hesaplayabiliriz. Elbette, bu çok az bir bilgi işlem demektir: Belki 1 cps; bu da bilgi işlem verimliliğinin 10^{-42} olması demektir.[70]

Benzer biçimde, insan beyninin verimliliği hakkında ne söyleyebiliriz? Yaklaşık 10^{14} nöron bağlantısının her birinin, bağlantının nöro-iletici yoğunlukları ile sinaptik ve dendrit doğrusalsızlıklarında (belirli biçimler), tahminen 10^4 bit bilgi saklayarak 10^{18} bite ulaştığını bu bölümde daha önce irdelemiştik. İnsan beyni bizim taşımızla aynı ağırlıktadır (aslında 1 kilogramdan çok 1,4 kilograma yakındır, ama büyüklük kerteleriyle ilgilendiğimize göre bu ölçüler yeterince yakındır). İnsan beyni soğuk bir taştan daha yüksek ısıda çalışır (her atomda bir bit saklayabildiğimizi düşünürsek), ama yine de 10^{27} bitlik aynı kuramsal bellek kapasitesi tahminini kullanabiliriz. Bu, 10^{-9}'luk bir bellek verimliliğini ortaya çıkarır.

Bununla birlikte, eşdeğerlik ilkesine göre, beynin bellek verimliliğini değerlendirmek için beynin verimsiz kodlama yöntemlerini kullanmamamız gerekir. 10^{13} bitin üzerindeki işlevsel

---

68 İlginç bir not olarak, küçük kayaların kenarlarındaki oymalar, gerçekte bilgisayarın saklama işleminin erken bir biçimini oluşturmaktadır. MÖ 3000 dolaylarında Mezopotamya'da geliştirilen ve yazılı dilin ilk örneklerinden biri olan çivi yazısı, bilgiyi saklamak amacıyla taşlar üzerinde grafik şekillerle yazılmıştır. Tarıma ait kayıtlar, tabletler üzerine yerleştirilen taşlar üzerine yazılan, satırlar ve sütunlarla düzenlenen çivi yazılarıyla tutulmuştur. Bu işaretli taşlar temelde ilk hesap tablolarıdır. Bu tür çivi yazısı tabletlerden biri benim tarihi bilgisayarlar koleksiyonumdaki değerli eserlerden biridir.

69 Bin (10^3) bit, taşın atomlarının bilgi saklaması için gereken (10^{27} bit olarak alınmaktadır) kuramsal kapasiteden 10–24 kat azdır.

70 1 cps (10^0 cps), taşın atomlarının kuramsal bilgi işlem kapasitesinden (10^{42} bit olarak alınmaktadır) 10^{-42} kat azdır.

bellek tahminimizi kullanırsak 10^{-14}'lük bir bellek verimi elde ederiz. Bu, logaritmik ölçekte, taş ile yapılabilecek en son soğuk dizüstü bilgisayarın arasındaki yolun yarısıdır. Ancak, her ne kadar teknoloji üstel olarak gelişiyor olsa da deneyimlerimiz doğrusal bir dünyanın içindedir. Doğrusal ölçekte ise insan beyni taşa, yapılabilecek en son soğuk dizüstü bilgisayara olduğundan çok daha yakındır.

Öyleyse, beynin bilgi işlem verimliliği nedir? Burada yine eşdeğerlik ilkesini dikkate alarak, insan beyninin işlevselliğini taklit edebilmek için, her bir nöronun doğrusalsızlığını taklit etmek için gerekli yüksek değeri (10^{19} cps) değil, 10^{16} cps değerini kullanmamız gerekir. Beynin atomlarının 10^{42} cps olarak hesaplanan kuramsal kapasitesiyle birlikte bu bize, 10^{-26}'lık bir bilgi işlem verimliliği sunar. Bu, logaritmik ölçekte yine, taşa, dizüstü bilgisayara olduğundan daha yakındır.

Beyinlerimizin bellek ve bilgi işlem verimliliği, taşlar gibi biyoloji öncesi nesnelerden önemli ölçüde evrilerek gelişmiştir. Ama yine de bu yüzyılın birinci yarısında, gelişim için yararlanabileceğimiz birçok büyüklük kertesi olduğu açıktır.

Sonun Ötesine Geçmek: Piko Teknoloji, Femto Teknoloji ve Işık Hızının Bükülmesi. Bir kilogramlık, bir litrelik soğuk bilgisayarın yaklaşık 10^{42} cps'lik sınırı ile (çok) ısınan bir bilgisayarın yaklaşık 10^{50}'lik sınırı, atomlarla yapılan bilgi işleme dayanmaktadır. Ancak, sınırlar her zaman göründükleri gibi değildirler. Yeni bilimsel anlayış, görünürdeki sınırları bir kenara itebilmektedir. Birçok örnekten biri, havacılık tarihinin ilk yıllarındaki, tepkili itme gücünün sınırları konusunda, jetlerin yapılabilirliğinin olmadığını gösteren ve genel kabul gören çözümlemeydi.[71]

Yukarıda irdelediğim sınırlar, nano teknolojinin bugünkü anlayışımıza dayanan sınırlarını gösterir. Peki, metrenin trilyonda biriyle (10^{-12}) ölçülen piko teknoloji ya da metrenin 10^{-15} ölçeğe sahip femto teknolojiye göre bu sınırlar nasıl olacaktır? Bu ölçekler, atomaltı parçacıklarla hesaplama yapmamızı gerektirir. Bu denli

71 Edgar Buckingham, "Jet Propulsion for Airplanes," NACA raporu no. 159, *Ninth Annual Report of NACA–1923* içinde (Washington, DC: NACA, 1924), s. 75–90. *Bkz.* http://naca.larc.nasa.gov/reports/1924/naca-report-159/.

küçük boyutlar, daha da yüksek hız ve yoğunluk potansiyelini beraberinde getirir.

Piko teknolojiyi çok erken bir aşamada kullanmaya başlamış en az birkaç teknoloji var. Alman bilim insanları bir atomun boydan boya yalnızca yetmiş yedi pikometre gelen özelliklerini ayırt edebilen bir atomsal kuvvet mikroskobu (AFM) yaptılar.[72] Çok daha yüksek çözünürlüğe erişebilen bir teknoloji ise, galyum arsenit kristalden, ışın demeti kullanılan son derece hassas bir dedektörle ışının bükülmesini bir pikometreye kadar ölçebilen bir algılama sistemini geliştiren, Santa Barbara'daki California Üniversitesinin araştırmacıları tarafından ortaya kondu. Bu aygıtla, Heisenberg'in belirsizlik ilkesini sınanması amaçlanıyor.[73]

Cornell Üniversitesi bilim insanları ise zaman boyutuyla ilgili olarak, X ışınlarının saçılmasına dayanan ve tek bir elektronun deviniminin filmini kaydedebilen bir görüntüleme teknolojisi ortaya koydular. Her kare yalnızca dört attosaniye (10^{-18} saniye, her biri saniyenin milyarda birinin milyarda biri) gösterilmektedir.[74] Aygıt, bir angström (10^{-10} metre, yani 100 pikometre) uzaysal çözünürlük elde edebilmektedir.

Ancak bizim maddeyi bu ölçeklerde, özellikle de femtometre ölçeğinde kavrayışımız, bilgi işlem paradigmalarını öne sürebilmemiz için yeterli bir gelişme değildir. Piko teknoloji ile femto

72 Belle Dumé, "Microscopy Moves to the Picoscale," *PhysicsWeb*, 10 Haziran 2004, http://physicsweb.org/article/news/8/6/6 içinde Stefan Hembacher, Franz J. Giessibl ve Jochen Mannhart, "Force Microscopy with Light–Atom Probes," *Science* 305.5682 (16 Temmuz 2004): 380–383'e atıf. Augsburg Üniversitesi fizikçileri tarafından geliştirilen bu yeni, "daha uyumlu" kuvvet mikroskobu, tek karbon atomlu bir sonda kullanır ve çözünürlüğü, geleneksel taramalı tünel mikroskobundan en az üç kat daha iyidir. Çalışma şekli: Sondanın tungsten ucu nanometre altı alanda salınım için yapılmış olduğundan, atomun ucu ile karbon atomu arasındaki etkileşim, temelini oluşturan sinüs dalgası örüntüsünde daha uyumlu bileşenler üretir. Bilim insanları bu sinyalleri ölçerek uç atomun, bir uçtan diğer uca yalnızca 77 pikometre (nanometrenin binde biri) olan özellikleri gösteren ultra yüksek çözünürlükteki görüntüsünü elde etmişlerdir.

73 Henry Fountain, "New Detector May Test Heisenberg's Uncertainty Principle," *New York Times*, 22 Temmuz 2003.

74 Mitch Jacoby, "Electron Moves in Attoseconds," *Chemical and Engineering News* 82.25 (21 Haziran 2004): 5, Peter Abbamonte vd, "Imaging Density Disturbances in Water with a 41.3–Attosecond Time Resolution," *Physical Review Letters* 92.23 (11 Haziran 2004): 237–401'e atıf.

teknoloji için *Engines of Creation* [*Yaratma Motorları*] (Eric Drexler'in nano teknolojinin temelini atarak çığır açtığı 1986 tarihli kitabı) gibi bir kitap henüz yazılmamıştır. Bununla birlikte, madde ve enerjinin bu ölçekte davranışı konusunda, rakip kuramların hepsi de, hesaplanabilir dönüşümlere dayanan matematik modelleri üzerine kuruludur. Fizikteki dönüşümlerin birçoğu evrensel bilgi işlem için temel oluşturmaktadır (yani, genel amaçlı bilgisayarları üretmek için kullanabileceğimiz dönüşümlerdir) ve ayrıca bunun pikometre ve femtometre aralığındaki davranışlar için de geçerli olması olasıdır.

Maddenin bu ölçeklerde geçerli temel mekanizmaları evrensel bilgi işlemi kuramsal olarak sağlasa bile, kuşkusuz, büyük sayılarla bilgi işleme ögelerini oluşturmak için gerekli mühendisliği yaratmamız, bunları nasıl denetleyebileceğimizi de öğrenmemiz gerekecektir. Bugün hızla ilerleme kaydettiğimiz nano teknoloji konusunda benzer bir durumu yaşıyoruz. Bu aşamada, piko bilgi işleme ve femto bilgi işleme kuramsal olarak bakmak zorundayız. Ancak, nano bilgi işlem bize önemli zekâ düzeyleri sağlayacaktır ve bir şekilde gerçekleştirilebilecek bir şeyse, gelecekteki zekâmız bunun için gerekli işlemleri anlayacaktır. Bu konuyu irdelerken izlememiz gereken yol, bugün bildiğimiz haliyle insanların piko ve femto bilgi işlem teknolojilerini kurup kuramayacağını değil, geleceğin nano teknoloji tabanlı zekâsının getireceği (çağdaş biyolojik insan zekâsından da trilyon kere trilyon kat daha yetenekli olacak) engin zekâ düzeyinin bu tasarımları yapacak yeteneğe sahip olup olmayacağını düşünmektir. Geleceğimizin nano teknoloji tabanlı zekâsının, nano teknolojiden daha hassas ölçeklerde bilgi işlemi başarabileceğine inanmakla birlikte, bu kitapta yer alan Tekilliğe ilişkin öngörüler bu kurguya dayanmamaktadır.

Bilgi işlemin boyutunu küçültmenin yanı sıra büyültebiliriz de, yani bu çok küçük aygıtları devasa ölçeklerde çoğaltabiliriz. Tam gelişmiş nano teknolojiyle, bilgi işlem kaynaklarının kendiliğinden kopyalanmaları sağlanabilir, böylelikle bu kaynaklar kütle ve enerjiyi hızla zeki bir forma dönüştürebilir. Ancak, burada karşımıza ışığın hızı çıkar; çünkü evrende madde büyük mesafelere yayılmıştır.

Daha sonra irdeleyeceğimiz gibi, ışığın hızının sabit olmayabileceği konusunda en azından iddialar vardır. Los Alamos Ulusal

Laboratuvarı fizikçilerinden Steve Lamoreaux ve Justin Torgerson, bugünkü Batı Afrika'da eski bir doğal nükleer reaktörün iki milyar yıl önce başlattığı ve faaliyeti yüz binlerce yıl süren fizyon (parçalanma) tepkimesini gösteren verilerini analiz ettiler.[75] Reaktörden geriye kalan radyoaktif izotopları inceleyip, günümüzdeki benzer nükleer tepkimelerden elde edilenlerle kıyaslayarak, elektromanyetik kuvvetin derecesini belirleyen fizik sabiti alfanın (ince yapı sabiti de denir) geçen iki milyar yılda belirgin biçimde değişmiş olduğunu saptadılar. Bu, fizik dünyası için çok önemlidir, çünkü ışığın hızı alfayla ters orantılıdır, her ikisi de değişmez sabitler olarak kabul edilmektedir. Alfa, 10^8 üzerinden 4,5 parça azalmış gibi görünmektedir. Kanıtlandığı takdirde bu, ışığın hızının artmış olduğu anlamına gelecektir.

Kuşkusuz bu kuramsal sonuçların ayrıntılı biçimde doğrulanması gerekecektir. Bunlar doğruysa, uygarlığımızın geleceği için çok önemli olabilirler. Eğer ışığın hızı arttıysa, bu büyük olasılıkla yalnızca aradan geçen zaman sonucunda değil, belli koşulların değişmesi nedeniyle de olmuştur. Eğer ışığın hızı değişen koşullar nedeniyle değişmişse, bu, kapının gelecekteki zekâmız ve teknolojimizle sonuna kadar açılabilmesi için yeterince aralandığı anlamına gelir. Teknoloji uzmanlarının sonuna kadar yararlanabileceği türden bir bilimsel kavrayıştır bu. İnsan mühendisliği genellikle, doğal ve çoğu kez küçük bir etkiyi kaldıraç gibi kullanarak denetleme ve büyük sonuçlar elde etme çabasındadır.

Işığın hızını uzayda büyük mesafelere yayarak belirgin biçimde artırmakta zorlansak bile, bunu bilgi işlem aygıtlarının dar sınırları içinde gerçekleştirmek, bilgi işlemin potansiyelinin geliştirilmesinde önemli sonuçlar ortaya koyabilecektir. Işığın hızı, bugün bile bilgi işlem aygıtlarını kısıtlayan sınırlardan biridir; bu yüzden bu hızı artırma yeteneği bilgi işlemin sınırlarının da genişletilebilmesini sağlayacaktır. Işığın hızını belki artırmanın ya da bu sorunun üstesinden gelmenin diğer bazı ilginç yolları-

75 S. K. Lamoreaux ve J. R. Torgerson, "Neutron Moderation in the Oklo Natural Reactor and the Time Variation of Alpha," *Physical Review* D 69 (2004): 121701–6, http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=PRVDAQ000069000012121701000001&idtype=cvips&gifs=yes; Eugenie S. Reich, "Speed of Light May Have Changed Recently," *New Scientist*, 30 Haziran 2004, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99996092.

nı altıncı bölümde inceleyeceğiz. Işığın hızının artırılması bugün için kuşkusuz yalnızca kurgusal bir konudur. Ayrıca, Tekillik beklentimizin temelini oluşturan çözümlemelerden hiçbiri bu olasılığa dayanmamaktadır.

Zamanda Geriye Gitmek. Diğer bir ilginç –ve oldukça kurgusal– olasılık da bilgi işlem sürecinin uzay–zaman içindeki bir "solucan deliğinden" zamanda geriye gönderilmesidir. Princeton Üniversitesi İleri Araştırmalar Enstitüsünün kuramsal fizikçilerinden Todd Brun, bilgi işlemi, "kapalı zamanımsı eğri" (CTC) olarak nitelediği şeyi kullanarak gerçekleştirmenin olasılığını incelemiştir. Brun'a göre CTC'ler, "bilgiyi (örneğin, hesap işlemlerinin sonuçları gibi) kendi geçmişlerindeki ışık konilerine gönderebilmektedirler."[76]

Brun, böyle bir aygıtın tasarımını sunmaz, ama bu tür bir sistemin fizik yasalarıyla tutarlı olduğunu kanıtlar. Brun'un zamanda yolculuk eden bilgisayarı, zamanda yolculuk tartışmalarında sıkça söz edilen "büyükbaba paradoksunu" da oluşturmaz. Bu iyi bilinen paradoks, bir A kişisi zamanda geçmişe yolculuk edebilirse büyükbabasını öldürebileceğine, böylelikle A kişisinin var olmamasını, dolayısıyla A kişisinin zamanda geçmişe gidip büyükbabasını öldürmemesini sağlayabileceğine ve bu döngünün sonsuza kadar sürüp gidebileceğine işaret eder.

Brun'un zamanı esneten bilgi işlem süreci, geçmişi etkilemediği için bu problemi ortaya koymaz görünmektedir. Sorulan bir sorunun belirli ve anlamı açık bir yanıtını şimdiki zamanda ortaya koyar. Sorunun net bir yanıtı olmalıdır; ancak bu yanıt, kapalı zamanımsı eğrinin kullanımı sayesinde sorunun yanıtını belirleyen süreç soru sorulmadan önce oluşabilse de, soru *soruluncaya kadar* ortaya konmaz. Bunun tersine, süreç soru sorulduktan sonra oluşabilir ve ardından bir kapalı zamanımsı eğriyi kullanarak yanıtı şimdiye geri getirebilir (ama soru sorulmadan önceki zamana değil, çünkü bu durum büyükbaba paradoksunu

---

76 Charles Choi, "Computer Program to Send Data Back in Time," UPI, 1 Ekim 2002, http://www.upi.com/view.cfm?StoryID=20021001-125805-3380r; Todd Brun, "Computers with Closed Timelike Curves Can Solve Hard Problems," *Foundation of Physics Letters* 16 (2003): 245–253. Elektronik sürüm, 11 Eylül 2002, http://arxiv.org/PS_cache/gr-qc/pdf/0209/0209061.pdf.

gündeme getirmiş olurdu). Henüz anlamadığımız bu tür bir sürecin temel engellerinin (ya da sınırlamalarının) olması pekâlâ mümkündür, ama bu engellerin ne olduğu henüz belirlenmiş değildir. Brun'un bilgi işlem süreci uygulanabilirse, yerel bilgi işlemin potansiyelini büyük ölçüde geliştirebilecektir. Burada yine, bilgi işlemin kapasiteleri ve Tekilliğin yetenekleri üzerine öngörülerimin Brun'un varsayımlarına dayanmadığını belirtmeliyim.

Eric Drexler: *Bilmiyorum, Ray. Piko teknolojinin geleceği konusunda kötümserim. Bildiğimiz sabit parçacıklarla, çökmüş bir yıldızda –bir beyaz cüce ya da bir nötron yıldızı– bulunan o muazzam basınçlar olmadan bir piko yapının nasıl olabileceğini anlamıyorum, olsa da metal gibi katı ama milyon kat daha yoğun bir madde külçesi olur. Bu çok da yararlı gibi görünmüyor, bizim güneş sistemimizde mümkün olsaydı bile yararlı olmazdı. Eğer fizik bir elektron gibi ama yüz kat daha oylumlu bir parçacığı içerseydi, bu farklı bir öykü olurdu ama böyle bir öykü bilmiyoruz.*

Ray: *Bugün, bir nötron yıldızının koşullarının çok gerisinde kalan hızlandırıcılarla, atomaltı parçacıkları yönlendirebiliyoruz. Üstelik bugün elektronlar gibi atomaltı parçacıkları masaüstüne konulabilen aygıtlarla yönlendirebiliyoruz. Bilim insanları son zamanlarda bir fotonu yörüngesinde yakalayıp dondurdular.*

Eric: *Evet ama nasıl bir yönlendirme? Eğer küçük parçacıkları yönlendirmeyi sayarsak o zaman tüm teknoloji şimdiden piko teknoloji olarak nitelenebilir, çünkü her madde atomaltı parçacıklardan oluşmuştur. Parçacıkları hızlandırıcılarda çarpıştırmak yıkıntılar üretir, makineler ya da devreler değil.*

Ray: *Piko teknolojinin kavramsal sorunlarını çözdüğümüzü söylemedim. Bunu 2072 yılında yapacağını öngörmüştüm.*

Eric: *A, iyi, demek bana uzun bir ömür biçiyorsun.*

Ray: *Evet, eh, eğer benim gibi sağlık ve tıp alanında öncü anlayış ve teknolojileri desteklersen, o tarihlerde formda olacağını düşünüyorum.*

Molly 2104: *Evet, doğum patlaması döneminden gelen siz birkaç kişi uzun yaşadınız. Ama çoğu, 2004 yılında var olan ve insan ömrünü biyoteknoloji devriminin avantajlarını kullanacak kadar uzatan olanaklara kayıtsız kaldı, biyoteknolojinin bir on yıl sonra büyük bir adım atmasıyla da ardından nano teknoloji geldi.*

Molly 2004: *Peki, Molly 2104, 2080 yılında bin dolar değerindeki bilgi işlemin, on milyar insan beyninin on bin yıllık düşüncesinin eşdeğerini on mikrosaniyede işleyebildiğini dikkate alırsak, sen müthiş bir şey olmalısın. Bu büyük olasılıkla 2104 yılında daha da ilerlemiş olacaktır, sanırım sizlerin elinin altında da bin dolarlık bilgi işlemden daha fazlası vardır.*

Molly 2104: *Aslında ortalaması milyonlarca dolarlık, gerekirse milyarlarca.*

Molly 2004: *Düşünmesi bile zor.*

Molly 2104: *Eh, evet, sanırım gerektiğinde epeyce akıllı olabiliyorum.*

Molly 2004: *Aslında o kadar parlak durmuyorsun.*

Molly 2104: *Sizin düzeyinize inmeye çalışıyorum.*

Molly 2004: *Bir dakika hele, geleceğin Molly Hanımı...*

George 2048: *Hanımlar, lütfen, ikiniz de son derece çekicisiniz.*

Molly 2004: *Öyle olsun, onu buradaki ikizime anlat; benden zilyon kat daha yetenekli olduğunu düşünüyor.*

George 2048: *Ama o senin geleceğin. Yine de her zaman biyolojik bir kadının özel bir yanı olduğunu düşünmüşümdür.*

Molly 2104: *Biyolojik kadınlar hakkında ne biliyorsun ki?*

George 2048: *Bu konuda çok okudum, birkaç kez de çok incelikle hazırlanmış simülasyonlarla ilişkiye girdim.*

Molly 2004: *Aklıma, ikinizin de farkında olmadan bir şey kaçırıyor olabileceğiniz geliyor.*

George 2048: *Bunun nasıl mümkün olabileceğini anlamıyorum.*

Molly 2104: *Kesinlikle mümkün değil.*

Molly 2004: *Öyle olmayacağını tahmin etmiştim. Ama yapabileceğinizi düşündüğüm ve hoşuma giden bir şey var.*

Molly 2104: *Tek bir şey mi?*

Molly 2004: *En azından benim düşündüğüm bir şey. Düşüncenizi, bir başkasının düşüncesiyle birleştirip, yine de aynı zamanda kimliğinizi ayrı tutabiliyorsunuz.*

Molly 2104: *Eğer durum –ve o kişi– doğru olansa, evet, bu olağanüstü bir şey.*
Molly 2004: *Âşık olmak gibi mi?*
Molly 2104: *Sevmek gibi. Paylaşmanın son biçimi bu.*
George 2048: *Sanırım bunu isteyeceksin Molly 2004.*
Molly 2104: *Senin bilmen gerekir George, ne de olsa bunu ilk yaptığım kişi sensin.*

Dördüncü Bölüm

İNSAN ZEKÂSI YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ: İNSAN BEYNİNE TERS MÜHENDİSLİK NASIL UYGULANIR?

Bir dönüm noktasında olduğumuza ve gelecek yirmi yılda beynin işlevlerini kayda değer biçimde anlayıp formüle edebileceğimize inanmak için güçlü nedenlerimiz var. Bu iyimser bakış, birkaç ölçülebilir eğilime ve bilim tarihinde üst üste kanıtlanmış basit bir gözleme dayanır: *Bilimsel gelişme, daha önce göremediğimizi görmemizi sağlayan teknolojik ilerlemeyle sağlanır.* Aşağı yukarı yirmi birinci yüzyıla girerken, hem sinirbilim alanındaki bilgilerimiz hem de bilgi işlem gücümüz açısından belirgin bir dönüm noktasından geçtik. Tarihte ilk kez, kendi beynimiz hakkında yeterli bilgiye genel olarak sahibiz; artık zekâmızın önemli bölümlerinin doğrulanabilir, gerçek zamanlı, yüksek çözünürlüklü modellerinin yapımına ciddiyetle girişebilecek kadar gelişmiş bilgi işleme teknolojisini oluşturduk.

—Lloyd Watts, sinirbilimci[1]

Bugün beynin bütün olarak işleyişini ilk kez çok net görebiliyoruz; bundan böyle olağanüstü güçlerinin ardındaki tüm programları keşfedebilmemiz gerekir

—J. G. Taylor, B. Horwitz, K. J. Friston, Sinirbilimciler[2]

1 Lloyd Watts, "Visualizing Complexity in the Brain," *Computational Intelligence: The Experts Speak* içinde, yay. haz. D. Fogel ve C. Robinson (Piscataway, NJ: IEEE Yayınları/Wiley, 2003), http://www.lloydwatts.com/wcci.pdf.

2 J. G. Taylor, B. Horwitz ve K. J. Friston, "The Global Brain: Imaging and Modeling," *Neural Networks* 13, özel sayı (2000): 827.

Beyin iyidir: Maddenin belli bir düzeninin akıl üretebildiğini, zeki düşünceyi, örüntü tanımayı, öğrenmeyi ve mühendisliğin ilgi alanına giren daha birçok önemli işi gerçekleştirebildiğinin varlığının kanıtıdır. Dolayısıyla, beyinden ödünç aldığımız düşüncelerle yeni sistemler kurmayı öğrenebiliriz. ... Beyin kötüdür: Evrimin neden olduğu beklenmedik durumlar sonucunda birçok etkileşimin ortaya çıktığı, evrilmiş, karmakarışık bir sistemdir. ... Diğer yanda, (onunla yaşamda kalabildiğimize göre) dirençli olması, oldukça büyük değişikliklere ve çevresel saldırılara dayanabilmesi gerekir; yani beyinle ilgili ulaşabileceğimiz en değerli kavrayış, iyi biçimde kendiliğinden düzenlenen esnek karmaşık sistemlerin nasıl oluşturulabileceği üzerine olacaktır. ... Bir nöronun içindeki etkileşimler karmaşıktır; ama sonraki aşamada bu nöronlar kolaylıkla esnetilir ağlar oluşturmak için kullanılabilen, bir bakıma basit nesneler gibi görünür. Kortikal ağlar yerel olarak tam bir karmaşadır, ama yine sonraki aşamada bağlanırlıkları o kadar karmaşık değildir. Evrimin, tekrar tekrar kullanılan bir dizi modül ya da yinelenen temalar oluşturmuş olması olasıdır. Bunları ve aralarındaki etkileşimleri anladığımız zaman bir benzerini yapabiliriz.

—Anders Sandberg, Bilgi İşlem Sinirbilimci, İsveç Kraliyet Teknoloji Enstitüsü

Beyinde Ters Mühendislik Uygulaması: Genel Bir Bakış

İnsan düzeyinde bir zekânın bir bilgisayarın hızı, kesinliği ve bellek paylaşımındaki doğal üstünlüğüyle birleşimi müthiş olacaktır. Ancak bugüne kadar yapay zekâ araştırma ve geliştirme çalışmalarının birçoğu insanın kavrama yeteneğinin ayrıntılı modellerini geliştirecek doğru araçlara sahip olmamamız gibi basit bir nedenle tam olarak insan beyninin işlevlerine dayanan mühendislik işlemlerini kullanmamışlardır.

Beyin üzerinde ters mühendislik işlemi uygulayabilme yeteneğimiz –beynin içini görebilme, modelleme, bölgelerini simüle edebilme yeteneğimiz– üstel büyümektedir. Sonunda kendi düşünme sistemimizin tamamının altında yatan çalışma ilkelerini anlayabileceğiz, bu bilgi de bize zeki makinelerin yazılımını geliştire-

ceğimiz güçlü yöntemleri sağlayacaktır. Bu yöntemleri biyolojik nöronlardaki elektrokimyasal işlemlerden çok daha güçlü bilgi işleme teknolojilerine uyguladıkça bunları değiştirecek, iyileştirecek ve geliştireceğiz. Bu görkemli projenin kilit yararlarından biri, bizim kendimizle ilgili kavrayışımıza getireceği kesinlik olacaktır. Aynı zamanda, Alzheimer hastalığı, felç, Parkinson hastalığı ve duyu yetersizliği gibi nörolojik sorunları ele almanın etkili yeni yöntemlerini elde edebilecek, sonuçta zekâmızı büyük ölçüde geliştirebileceğiz.

Yeni Beyin Görüntüleme ve Modelleme Araçları. Beyinde ters mühendislik işleminin ilk adımı, nasıl çalıştığını belirlemek için beynin içine bakmaktır. Şimdiye dek bunu yapmak için kullandığımız araçlar ilkel nitelikteydi; fakat birçok yeni tarama teknolojisiyle oldukça gelişmiş uzaysal ve zamansal çözünürlük, fiyat performansı ve bant genişliği ortaya kondukça bu durum değişmektedir. Buna paralel olarak, tek tek sinapslardan beynin nöronlarının yarısından fazlasını barındıran beyincik gibi büyük bölgelerine kadar, beynimizi oluşturan bölümlerin ve beynimizin sisteminin özellikleri ve dinamikleri hakkında hızla kesin bilgiler topluyoruz. Beynimiz hakkında üstel artışla edindiğimiz bilgiler, kapsamlı veri tabanlarında düzenli olarak sınıflanıyor.[3]

Araştırmacılar, yaptıkları modeller ve çalıştırdıkları simülasyonlarla bu bilgileri hızla anlayıp uygulayabildiklerini gösterdiler. Karmaşıklık kuramının ve kaotik bilgi işlemenin matematiksel ilkelerine dayanarak beyin bölgelerini ele alan bu simülasyonlar daha şimdiden gerçek insan ve hayvan beyinlerinde uygulanan deneylerinkine çok yakın sonuçlar vermektedir.

İkinci bölümde belirtildiği gibi, beyinde ters mühendislik işleminin uygulanabilmesi için gereken tarama ve bilgi işleme araçlarının gücü, tıpkı genom projesini mümkün kılan teknolojide olduğu gibi, hızlanarak artmaktadır. Nanobot çağına geldiğimizde (*bkz.* s. 137'deki "Nanobot ile Tarama" bölümü), beyni, çok hassas

---

3 Neil A. Busis, "Neurosciences on the Internet," http://www.neuroguide.com; "Neuroscientists Have BetterTools on the Brain," *Bio IT Bulletin*, http://www.bio-it world.com/news/041503_report2345.html; "Brain Projects to Reap Dividends for Neurotech Firms," *Neurotech Reports*, http://www.neurotechreports.com/pages/brainprojects.html.

uzaysal ve zamansal çözünürlükle *içinden* tarayabileceğiz.[4] İnsan zekâsının işleyiş ilkelerine ters mühendislik işlemi uygulayabilmemiz ve bu yetenekleri gelecek yıllarda edineceğimiz daha güçlü bilgi işlem alt katmanlarında kopyalayabilmemizin önünde doğal engeller yoktur. İnsan beyni, karmaşık sistemlerin karmaşık bir hiyerarşisidir; ama bugün üstesinden gelebildiğimizin ötesinde bir karmaşıklık düzeyinde değildir.

Beynin Yazılımı. Bilgi işlemin ve iletişimin fiyat performansı her yıl ikiye katlanmaktadır. Daha önce gördüğümüz gibi, insan zekâsını taklit etmek için gereken bilgi işlem kapasitesi, yirmi yıldan önce elimizde olacaktır.[5] Tekillik beklentisinin altında yatan temel varsayımlardan biri, biyolojik olmayan taşıyıcı ortamların insanın düşünme yeteneğinin varsıllık, incelik ve derinliğini taklit edebilecek olmalarıdır. Ancak tek bir insan beyninin –ya da bölgelerin, ulusların ortak zekâsının bile– bilgi işlem kapasitesini gösterecek donanımın gerçekleştirilmesi, doğrudan insan düzeyinde yetenekler üretmeyecektir. ("İnsan düzeyi" derken, müzik ve sanat yetenekleri, yaratıcılık, yeryüzündeki fiziksel devinim ve duyguları doğru anlayıp onlara doğru tepki vermek dahil, insanların zeki olduğu farklı ve incelikli alanların tümünü kapsıyorum.) Bilgi işlem donanım kapasitesi gereklidir, ama yeterli değildir. Bu kaynakların düzen ve içeriğini –zekâ yazılımı– anlamak daha da önemlidir; beyinde ters mühendislik işlemini uygulama girişiminin de amacıdır.

Bir bilgisayar bir kez insanın zekâ düzeyine eriştiğinde, ister istemez daha ilerisine de sıçrayacaktır. Biyolojik olmayan zekânın kilit avantajlarından biri, makinelerin, bilgileri kolay paylaşabilmeleridir. Siz Fransızca öğrendiğinizde ya da Tolstoy'un *Savaş ve Barış*'ını okuduğunuzda, edindiğiniz bu bilgileri bana yükleyemezsiniz çünkü benim de bu bilgileri sizin geçtiğiniz zahmetli yollardan geçerek edinmem gerekir. Sizin, çok geniş bir nöro-iletici konsantrasyonu örüntüsünde (bir nöronun diğerini etkileme-

4 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 4.8.6, "Noninvasive Neuroelectric Monitoring," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 115–116, http://www.nanomedicine.com/NMI/4.8.6.htm.

5 Bu konunun çözümlemesi üçüncü bölümde yapılmıştır. *Bkz.* "İnsan Beyninin Bilgi İşlem Kapasitesi."

sini sağlayan sinapslardaki kimyasalların düzeyi) ve nöronların bağlantılarında (nöronları birbirine bağlayan akson ve dendrit adı verilen bölümleri) gömülü olarak sahip olduğunuz bilgilere çabucak erişivermem ya da bu bilgileri iletivermem (henüz) mümkün değil.

Bir de makinenin zekâsının durumuna bakın. Şirketlerimden birinde, konuşma tanıma yazılımı kullanarak bir araştırma bilgisayarına insanın kesintisiz konuşmasını tanımayı öğretmek için yıllarca uğraştık.[6] Makineye, binlerce saatlik konuşma kaydı dinlettik, hatalarını düzelttik, "kaotik" kendiliğinden düzenlenen algoritmalarını (ilk yarı rastlantısal bilgileri kullanan süreçler temelinde, kesin öngörülemeyen sonuçlarla kendi kurallarını düzenleyen yöntemler) düzenleyip, çalışmasını sabırla iyileştirdik. Sonunda bilgisayar, konuşma tanımakta oldukça ustalaştı. Artık, bilgisayarınızın konuşma tanıyabilmesini isterseniz, onu (her insan yavrusuna yaptığımız gibi) aynı zahmetli öğrenme sürecinden geçirmeniz gerekmeyecektir; zaten hazır olan örüntüleri bilgisayarınıza birkaç saniyede yükleyebilirsiniz.

Beynin Analitik Modellemesi ve Nöromorfik Modellemesi. İnsan zekâsı ile çağdaş yapay zekâ arasındaki farklılığa iyi bir örnek, bir satranç probleminin çözülme biçimleridir. İnsanlar örüntüleri tanıyarak çözerken, makineler olası hamleler ile karşı hamlelerden oluşan kocaman mantık "ağaçları" kurar. Bugüne kadar var olan (her türden) çoğu teknoloji, bu ikinci tür "yukarıdan aşağıya," analitik, teknik yaklaşımı kullanmıştır. Örneğin, uçan makinelerimiz, kuşların fizyolojisini ve mekaniğini yeniden oluşturmaya kalkışmazlar. Ama doğanın yöntemleri üzerinde ters mühendislik işlemi uygulamak için kullandığımız araçlarımız büyük bir hızla incelip gelişmekte olduğundan, teknoloji de doğayı taklit etmeye ve bu yöntemleri bunlara çok daha yatkın alt katmanlarda uygulamaya doğru ilerlemektedir.

Zekâ yazılımının başarılması yolundaki en zorlayıcı senaryo, zeki bir sürece elimizin altındaki en iyi örnek olarak insan beyni-

6 1982 yılında kurduğum, konuşma tanıma araştırma ve geliştirme, Kurzweil Applied Intelligence şirketi, şimdi (önceden Kurzweil Computer Products olan) ScanSoft'un bir bölümüdür.

nin, doğrudan ayrıntılı bir şemasını çıkarmaktır. Her ne kadar ilk "tasarımcısının" (evrimin) oluşturması birkaç milyar yıl sürmüşse de, beyin hazır olarak önümüzde durmaktadır; kafatasının içinde korunsa da, doğru araçlarla görüntülenip, incelenebilmektedir. İçeriğinin henüz telif hakkı ya da patenti alınmamıştır. (Yine de bunun değişmesini bekleyebiliriz; çünkü beyinde ters mühendislik çalışmalarına dayanan patent başvuruları çoktan yapılmaya başladı.)[7] Beynin taranmasından ve nöron modellerinden elde edilen trilyonlarca bitlik bilgiyi birçok farklı düzeyde uygulayarak, makinelerimiz için daha zeki paralel algoritmalar, özellikle de kendiliğinden düzenlenme paradigmasına dayananları, tasarlayacağız.

Kendiliğinden düzenlenme yöntemi sayesinde her nöron bağlantısını tek tek kopyalamamıza gerek yoktur. Beynin tüm bölgelerinde yinelenme ve artıklık oldukça fazladır. Beyin bölgelerinin daha üst düzey modellerinin, nöron bileşenlerinin ayrıntılı modellerinden çoğunlukla daha basit olduğunu keşfediyoruz.

Beyin Ne Kadar Karmaşıktır? Bir insan beyninin içerdiği bilgi, bir milyar kere milyar dolayında bit gerektirecek olsa da (*bkz.* üçüncü bölüm), beynin ilk tasarımı, oldukça sıkıştırılmış durumdaki insan genomuna dayanmaktadır. Genomun tamamı sekiz yüz milyon bitten oluşmakla birlikte, bunun çoğunluğu artık veri olduğundan, (sıkıştırıldıktan sonra) geriye yalnızca otuz ile yüz milyon bit arasında (10^9 bitten az) özgün bilgi kalmaktadır; bu da, Microsoft

---

7 Lloyd Watts, ABD Patent Başvurusu, ABD Patent ve Tescil Bürosu, 20030095667, 22 Mayıs 2003, "Computation of Multi-sensor Time Delays," Özet: "Birinci sensörden alınan ilk sinyal ile ikinci sensörden alınan ikinci sinyal arasındaki gecikmenin belirlenmesi tanımlanmıştır. Alınan birinci sinyal analiz edilerek, birinci sinyal kanallarının farklı frekanslarındaki çokluk elde edilmiştir, ikinci sinyal analiz edilerek, ikinci sinyal kanallarının farklı frekanslarındaki çokluk elde edilmiştir. Birinci sinyal kanallarından birinde ilk kez ortaya çıkan ilk özellik belirlenmiştir. İkinci sinyal kanallarından birinde ikinci kez ortaya çıkan ikinci özellik belirlenmiştir. Birinci özellik, ikinci özellikle eşleştirilmiş ve birincinin zamanlamasıyla ikincinin zamanlaması karşılaştırılarak gecikme belirlenmiştir." *Ayrıca bkz.* Nabil H. Farhat, ABD Patent Başvurusu 20040073415, ABD Patent ve Tescil Bürosu, 15 Nisan 2004, "Dynamical Brain Model for Use in Data Processing Applications."

Word programınınkinden düşüktür.[8] Adil davranmak için gen ekspresyonunu denetleyen (yani, her hücrede hangi genlerin protein yapacağını belirleyen) proteinlerde saklanan bilgi olan "epigenetik" verilerin yanı sıra ribozomlar ile çoğu enzim gibi tüm protein kopyalama mekanizmasını da dikkate almamız gerekir. Ancak, bu tür ek bilgi yine de bu hesabın büyüklük kertesini belirgin biçimde değiştirmez.[9] Genetik ve epigenetik bilginin yarısından biraz daha fazlası insan beyninin ilk durumunu nitelemektedir.

Bizler dünyayla etkileşime girdikçe beyinlerimizin karmaşıklığı da tabii ki artmaktadır (genom üzerinden yaklaşık bir milyarlık bir katsayıyla).[10] Ancak, çok sık yinelenen örüntüler belirli her beyin bölgesinde bulunur. Bu yüzden, sayısal ve analog yöntemleri birleştiren ilgili algoritmalar üzerinde ters mühendislik işlemini başarıyla uygulayabilmek için her ayrıntıyı ayrı ayrı yakalamak gerekli değildir (örneğin, bir nöronun ateşlenmesi sayısal bir olay sayılabilecekken, sinapslardaki nöro-iletici düzeyleri analog değerler olarak kabul edilebilir). Örneğin, beyinciğin temel kablolama örüntüsü genomda yalnızca bir kez tanımlanmakta, ama milyarlarca kez yinelenmektedir. Beynin taranması ve modellenmesi çalışmalarından elde edilen bilgilerle simüle edilmiş "nöromorfik" eşdeğer yazılımın (yani, beynin bir bölgesinin genel performansına işlevsel olarak eşdeğer algoritmaların) tasarımını yapabiliriz.

Çalışan model ve simülasyonların yapılma hızı, beyin tarama ve nöronun yapısına ait bilgilerin elde edilmesinin hızının çok az gerisindedir. Dünyada elli binden fazla sinirbilimci ve onların makalelerini yayınladıkları üç yüzün üzerinde dergi bulunmaktadır.[11] Bu, bilim insanları ile mühendislerin yarattıkları yeni tara-

---

8 Sıkıştırılmış genomu yaklaşık otuz ile yüz milyon bit arasında hesaplıyorum (*bkz.* ikinci bölümde 57. not). Bu, Microsoft Word'un nesne kodundan küçük, kaynak kodundan ise çok daha küçüktür. *Bkz.* Word 2003 sistem gereksinimlerii, 20 Ekim 2003, http://www.microsoft.com/office/word/prodinfo/sysreq.mspx.

9 Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Epigenetics.

10 Genomda bulunan bilgi içeriğinin çözümlemesi için *bkz.* ikinci bölümde 57. not. Genomu, 30 ile 100 milyon bit arasında, yani 10^9 bitten az hesaplıyorum. 1018 bit üzerinden hesaplanan insan beynindeki bilginin çözümlemesi için *bkz.* üçüncü bölümde "İnsan Belleğinin Kapasitesi" başlıklı bölüm (s. 104).

11 Marie Gustafsson ve Christian Balkenius, "Using Semantic Web Techniques for Validation of Cognitive Models against Neuroscientific Data," AILS

ma ve algılama teknolojileri ve geliştirdikleri model ve kuramlarla, geniş ve çeşitlilik içeren bir alandır. Böyle olunca, bu alandaki kişiler bile çoğunlukla, çağdaş araştırmanın tüm boyutlarını tam olarak bilmezler.

Beynin Modellenmesi. Çağdaş sinirbilimde, modeller ve simülasyonlar, beyin taramaları, nöron modelleri, nöronların bağlantı modelleri ve psikofiziksel deneyler dahil, farklı kaynaklardan geliştirilmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, işitme sistemi araştırmacısı Lloyd Watts, belli nöron tipleri üzerine yapılan nörobiyoloji çalışmalarına ve nöronların bağlantı bilgilerine dayanarak, insanın işitme işleme sisteminin önemli bir bölümünün ayrıntılı bir modelini geliştirmiştir. Watts'ın modeli, beş paralel kanal içerir ve her bir nöron işlemi aşamasındaki gerçek işitme bilgisini gösterir. Watts, modelini bir bilgisayar üzerinde, insanın işitmesine benzer biçimde, sesleri ve işlevleri tanıyıp yerlerini belirleyebilen gerçek zamanlı yazılım olarak uygulamıştır. Sürmekte olan bir çalışma olmasına karşın bu model, nörobiyolojik modellerle beyin bağlantısı verilerini çalışır simülasyonlara dönüştürmenin yapılabilirliğini örneklemektedir.

Hans Moravec ile diğerlerinin öngördüğü gibi, bu işlevsel simülasyonlar, simüle edilen bölgedeki her bir dendrit, sinaps ve diğer nöron altı yapılardaki doğrusalsızlıkların simüle edilmesinden bin kat daha az bilgi işlem gerektirmektedir. (Üçüncü bölümde irdelediğim gibi, beynin işlevsel simülasyonu için gereken bilgi işlemi, saniyede 10^{16} işlem [cps], nöron altı doğrusalsızlıkları simüle etmek için gereken bilgi işlemi ise 10^{19} cps olarak hesaplayabiliriz.)[12]

---

04 Çalıştayı, SAIS/SSLS çalıştayı (İsveç Yapay Zekâ Derneği; İsveç Öğrenme Sistemleri Derneği), 15-16 Nisan 2004, Lund, İsveç, www.lucs.lu.se/People/Christian.Balkenius/PDF/Gustafsson.Balkenius.2004.pdf.

12 *Bkz.* üçüncü bölümdeki tartışma. Nöronları tek tek modelleyen Tomaso Poggio ve Christof Koch, yararlı kaynaklardan birinde nöronu binlerce mantık geçidi olan bir çipe benzeterek tanımlamaktadırlar. *Bkz.* T. Poggio ve C. Koch, "Synapses That Compute Motion," *Scientific American* 256 (1987): 46-52. Ayrıca, C. Koch ve T. Poggio, "Biophysics of Computational Systems: Neurons, Synapses, and Membranes," *Synaptic Function* içinde, yay. haz. G. M. Edelman, W. E. Gall ve W. M. Cowan (New York: John Wiley and Sons, 1987), s. 637-697.

Çağdaş elektronik ile biyolojik nöronların bağlantılarındaki biyokimyasal sinyalleme arasındaki gerçek hız oranı, en az bir milyona birdir. Aynı verimsizliği biyolojimizin tüm yönlerinde görürüz; çünkü biyolojik evrim, tüm mekanizma ve sistemlerini çok kısıtlı bir grup malzemeyle kurmuştur. Bunlar, kendileri sınırlı bir protein grubundan oluşan hücrelerdir. Biyolojik proteinler üç boyutlu olsalar da, doğrusal (tek boyutlu) bir amino asit diziliminin katlanmasıyla oluşan karmaşık moleküllerle sınırlıdırlar.

Soğanı Soyma. Beyin, tek başına bir bilgi işleme organı değil, daha çok girift ve iç içe geçmiş yüzlerce özelleşmiş bölgeden oluşan bir bütündür. Bu iç içe geçmiş bölgelerin işlevlerini anlamak için "soğanın soyulması" işlemi epeyce yol almıştır. Gereken nöron tanımları ile beyindeki bağlantı verileri elde edildikçe, işitmeyle ilgili yukarıda verilen örnekte olduğu gibi, beynin tüm bölgeleri için ayrıntılı ve uygulanabilir kopyalar geliştirilecektir.

Çoğu beyin modelleme algoritması bugün sayısal bilgi işlemde yaygın olarak kullanılan sıralı ve mantıksal yöntemlerden değildir. Beyin, kendiliğinden birleşen, kaotik, holografik süreçler kullanma eğilimindedir (yani, bilgi tek bir yerde bulunmaz, bir bölgenin tamamına dağılmıştır). Aynı zamanda yoğun paraleldir ve sayısal kontrollü analog karma yöntemler kullanır. Bununla birlikte çeşitli projeler, bu yöntemleri anlayıp, beynimiz ve düzeniyle ilgili hızla artan bilgilerden bunları çıkarma yeteneğimizi ortaya koymaktadır.

Belli bir bölgenin algoritmaları anlaşıldığında, bu algoritmalar sentetik sinirsel eşdeğerlerinde uygulanmadan önce işlenerek geliştirilebilir. Şimdiden nöron devrelerinden çok daha hızlı olan bilgi işlemin alt katmanlarında çalıştırılabilirler. (Nöron bağlantıları bir işlemi saniyenin binde biri sürede yaparken, bugünün bilgisayarları saniyenin milyarda biri sürede işlem yapabilmektedir.) Bu yöntemleri, şimdiden anlamış olduğumuz zeki makineleri kurmak için de kullanabiliriz.

İnsan Beyni Bilgisayardan Farklı mıdır?

Bu sorunun yanıtı, "bilgisayar" sözcüğüyle neyi kastettiğimize bağlıdır. Bugün çoğu bilgisayar sayısaldır, bir kerede tek bir (ya

da belki birkaç) işlemi son derece yüksek hızda gerçekleştirebilir. Buna karşın insan beyni, sayısal ve analog yöntemleri birleştirir; ama çoğu işlemi analog (sürekli) alanda, nöro-iletici ile bunların mekanizmalarını kullanarak gerçekleştirir. Bu nöron hesapları son derece yavaş yürütüyor olsa da (genellikle saniyede iki yüz işlem), beynin bütünü yoğun paralel çalışır: Nöronların çoğu aynı zamanda çalışarak, eşzamanlı yüz trilyon bilgi işleme kadar performans gösterebilir.

İnsan beyninin yoğun paralelliği, türümüzün düşünme yetisinin temel direklerinden biri olan örüntü tanımanın anahtarıdır. Memelilerin nöronları kaotik dans ederler (yani, çok çeşitli rastlantısal etkileşimlere girerler) ve nöron ağı, dersini iyi çalışmışsa, ortaya ağın kararını yansıtan dengeli bir örüntü çıkacaktır. Bilgisayarların paralel tasarımları şu anda biraz sınırlıdır. Ancak, bu ilkeler kullanılarak, biyolojik nöron ağlarına işlevsel denklikte, biyolojik olmayan yeni nöron ağlarının oluşturulması önünde hiçbir engel yoktur. Benim teknik uzmanlık alanım örüntü tanımadır. Yaklaşık kırk yıldır içinde yer aldığım projeler de bu türden düzenlenebilir, belirlenimci olmayan bilgi işlem biçimini kullanmaktadır.

Beynin tipik düzenlenme yöntemlerinden birçoğu yeterli gücü olan geleneksel bilgi işlem kullanılarak da işlevsel olarak simüle edilebilir. Doğanın tasarım paradigmalarını çoğaltmanın geleceğin bilgi işleminin kilit eğilimlerinden biri olacağına inanıyorum. Ayrıca, sayısal bilgi işlemin işlevsel olarak analog bilgi işleme eşdeğer olabileceği –yani, tümüyle sayısal olan bir bilgisayarla bir sayısal–analog karma ağın tüm işlevlerinin gerçekleştirilebileceği– akıldan çıkarılmamalıdır. Bunun tersi ise geçerli değildir: Sayısal bir bilgisayarın tüm işlevleri bir analog bilgisayarla simüle edilemez.

Bununla birlikte, analog bilgi işlemin teknik bir avantajı vardır; potansiyel olarak binlerce kat daha verimlidir. Analog bilgi işlem birkaç transistörle ya da memelilerin nöronları söz konusu olduğunda, belirli elektrokimyasal süreçlerle yürütülebilir. Buna karşın sayısal bilgi işlem binlerce ya da on binlerce transistör gerektirir. Diğer yandan, sayısal bilgisayar tabanlı simülasyonların programlanmasındaki (ve değiştirilmesindeki) kolaylık bu avantajı karşılar.

Beyin, geleneksel bir bilgisayardan birkaç temel yönden daha ayrılır:

- *Beyin devreleri çok yavaştır.* Sinaptik sıfırlama ve nöron stabilizasyon süreleri (nöronun ateşlemesinin ardından bir nöron ile sinapslarının kendilerini sıfırlamaları için gereksindikleri süre) çok yavaş olduğu için örüntü tanıma kararlarını verebilecek çok az sayıda nöron ateşleme döngüsü bulunur. İşlevsel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ile manyetoensefalografi (MEG) taramalarına göre, anlamsal belirsizliklerin çözümlenmesini gerektirmeyen kararlar, temelde hiçbir yinelenme süreci kullanmadan tek bir nöron ateşleme döngüsüyle (yirmi milisaniyeden az) gerçekleşir gibi görünmektedir. Bir nesnenin tanınması 150 milisaniyede gerçekleşir, böylelikle, bir şeyin üzerinde "yeniden düşünsek" bile, işlemin döngü sayısı yüzlerle, en çok binlerle ölçülür, tipik bir bilgisayarda olduğu gibi milyarlarla değil.
- *Ama yoğun paraleldir.* Beyinde, her biri bilgiyi eşzamanlı işleme potansiyeline sahip yüz trilyon dolayında nöron bağlantısı vardır. Daha önce irdelendiği gibi bu iki etmen (yavaş döngü süresiyle yoğun paralellik), beyinde belli düzeyde bir bilgi işleme kapasitesini sağlar.

Bugün en büyük süper bilgisayarlarımız bu aralığa erişmektedir. Önde gelen süper bilgisayarlar (en popüler arama motorlarının kullandıkları dahil) 10^{14} cps'in üzerinde çalışır, bu da üçüncü bölümde irdelediğim gibi işlevsel simülasyon için tahmin edilen aralığın alt değerine denk gelir. Bununla birlikte, gereksinilen genel bilgi işlem hızıyla bellek kapasitesini eşlediğimiz ve beynin yoğun paralel mimarisini diğer bir yöntemle simüle ettiğimiz sürece, beynin kendisindeki gibi paralel işlemedeki aynı öge boyutunu kullanmak gerekli değildir.

- *Beyin, analog ve sayısal olguları birleştirir.* Beyindeki bağlantıların topolojisi özünde sayısaldır; bağlantı vardır ya da yoktur. Bir aksonun ateşlemesi bütünüyle sayısal değildir ama sayısal işleme çok benzerdir. Beyindeki çoğu işlev analogdur ve nöronlar için kullanmakta olduğumuz klasik modellerden büyük oranda daha karmaşık (düzgün değişen düzeyler yerine çıktılarda ani kaymalar) doğrusalsızlıklarla doludur. Bununla

birlikte, bir nöronun ayrıntılı, doğrusal olmayan dinamikleri ile tüm unsurları (dendritler, omurgalar, kanallar ve aksonlar) doğrusal olmayan sistemlerin matematiğiyle modellenebilir. Bu matematik modelleri de bir sayısal bilgisayar üzerinde istenen tamlık düzeyinde simüle edilebilir. Belirttiğim gibi, eğer nöron bölgelerini sayısal bilgi işlem yerine orijinal analog biçimlerinde transistörler kullanarak simüle edersek, bu yaklaşım, Carver Mead'in ortaya koyduğu gibi, üç ya da dört büyüklük kertesinde kapasite gelişimi sağlayabilir.[13]

- *Beyin kendini yeniler.* Dendritler sürekli olarak yeni omurga ve sinapslar arar. Dendrit ve sinapsların topolojisi ve iletkenliği de durmaksızın uyarlanmaktadır. Sinir sistemi, kendi organizasyonu içinde her düzeyde kendiliğinden düzenlenirdir. Bilgisayarlı örüntü tanıma sistemlerinde kullanılan nöron ağları, Markov modelleri gibi matematik yöntemler beyinde kullanılanlardan çok daha basit de olsa, kendiliğinden düzenlenen modellerin mühendisliği alanındaki deneyimimizi azımsamamalıyız.[14] Çağdaş bilgisayarlar, (her ne kadar yeni gelişmekte olan "kendini iyileştiren sistemler" bu işi yapmaya başlasa da) kelimenin tam anlamıyla kablolarını yenilemezler ancak bu işlemi yazılımda etkili biçimde simüle edebiliriz.[15] Çoğu kendiliğinden düzenlenme işlemini yazılıma uygulamanın programcılara daha fazla esneklik kazandıran avantajları vardır, gelecekte bunu donanım üzerinde de uygulayabileceğiz.
- *Beyindeki çoğu bilgi rastgeledir.* Beynin her yönünde büyük oranda stokastik (özenle denetlenen kısıtlamalar içinde rastgele ilerleyen) süreçler bulunmakla birlikte, her dendritin yüzeyindeki her "çukurcuğun" modellenmesi, bir bilgisayarın

---

13 Mead hakkında bilgi için *bkz.* http://www.technology.gov/Medal/2002/bios/Carver_A._Mead.pdf. Carver Mead, Analog VLSI and Neural Systems (Reading, MA: Addison-Wesley, 1986).

14 Kendiliğinden düzenlenen nöron ağının tanımı için *bkz.* beşinci bölüm, 172. not; kendiliğinden düzenlenen genetik algoritmanın tanımı için *bkz.* beşinci bölüm 175. not.

15 *Bkz.* Gary Dudley vd, "Autonomic Self-Healing Systems in a Cross-Product IT Environment," *IEEE International Conference on Autonomic Computing* (Uluslararası Otonom Bilgi İşlem Konferansı) tutanakları, New York City, 17-19 Mayıs 2004, http://csdl.computer.org/comp/proceedings/icac/2004/2114/00/21140312.pdf; "About IBM Autonomic Computing," http://www-3.ibm.com/autonomic/about.shtml; ve Ric Telford, "The Autonomic Computing Architecture," 14 Nisan 2004, http://www.dcs.st-andrews.ac.uk/undergrad/current/dates/disclec/2003-2/RicTelfordDistinguished2.pdf.

çalışma ilkelerini anlamak için her transistörün yüzeyindeki en ufak değişmenin modellenmesinden daha fazla gerekli değildir. Ama belli ayrıntılar, beynin çalışma ilkelerinin kodlarının çözülmesinde belirleyici öneme sahiptir; biz de bunlar ile stokastik "gürültü" ya da kaos içerenler arasında ayrım yapmak zorunda kalırız. Nöronun işlevinin kaotik (rastgele ve öngörülemeyen) yönlerinin, karmaşıklık kuramı ile kaos kuramının matematik yöntemleri kullanılarak modellenmesi mümkündür.[16]

- *Beyin yeni gelişen özellikleri kullanır.* Zeki davranış, beynin kaotik ve karmaşık etkinliğinin sonradan gelişen bir özelliğidir. İnce bir tasarımla birbirine bağlanan tünelleri ve havalandırma sistemleriyle, akkarınca ve karınca kolonilerinin açık bir zekâ ürünü olan tasarımlarındaki benzerliği düşünün. Parlak ve girift tasarımlarına karşın, karınca ve akkarınca tepelerinin bir baş mimarı yoktur; mimari, her biri görece basit kurallara uyan koloni üyelerinin öngörülemeyen etkileşimleri sonucunda oluşur.
- *Beyin mükemmel değildir.* Karmaşık uyarlanabilir sistemlerin, kararlarının ortaya koyduğu, sonradan gelişen zekânın vasatlığı, bu sistemlerin doğasından gelir. (Yani bu vasatlık, sahip olunan unsurların ideal şekilde düzenlenmesiyle elde edilebilecek bir zekâ düzeyinden daha düşük bir düzeyi yansıtır.) Gereken, sistemin yalnızca yeterince iyi olmasıdır. Bizim türümüz söz konusu olduğunda bu, ekolojik nişimizdeki rakiplerimizi alt etmemize yetecek kadar bir zekâ düzeyi anlamına gelmektedir (bizim dışımızda, bilişsel işlevi karşılayıcı uzuv olan başparmağıyla birleştirebilen ama beyinleri insanlarınki kadar gelişmemiş ve ellerini insanlar kadar iyi kullanamayan primatlar bu rakiplere örnektir).
- *Kendimizle çelişiriz.* Birbiriyle çelişenler dahil, düşünce ve yaklaşımların çeşitliliği, üstün sonuçların yolunu açar. Beyinlerimiz, birbiriyle çelişen bakış açılarını desteklemek konusunda oldukça yeteneklidir. Gerçekte, bu içsel çeşitlilik sayesinde gelişir, zenginleşiriz. Bunun, farklı bakış açılarını çözümlemenin yapıcı yollarını kullanan bir insan toplumuyla, özellikle demokratik bir toplumla nasıl benzeştiğini düşünün.

16 Christine A. Skarda ve Walter J. Freeman, "Chaos and the New Science of the Brain," *Concepts in Neuroscience* 1.2 (1990): 275–285.

- *Beyin evrimi kullanır.* Beynin kullandığı temel öğrenme paradigması evrimsel bir paradigmadır: Dünyaya anlam kazandırmakta, anlamaya ve karar vermeye katkıda bulunmakta en başarılı bağlantı örüntüleri varlığını sürdürür. Bir yenidoğanın beyni, çoğunlukla birbirlerine rastgele bağlanan nöron bağlantılarını içerir ve bunların yalnızca bir bölümü iki yaşındaki beyinde varlığını sürdürür.[17]
- *Örüntüler önemlidir.* Bu, kaotik, kendiliğinden düzenlenen yöntemlerin örnek kısıtlamalar olarak ifade edilen (ortaya çıkış koşullarını tanımlayan kurallarla kendiliğinden düzenlenmenin yolları) belli ayrıntıları, belirleyicidir; ancak bu kısıtlamalara tabi birçok ayrıntı başlangıçta rastgele düzenlenir. Sistem sonra kendiliğinden düzenlenir, giderek, sisteme tanıtılan bilginin değişmez özelliklerini gösterir. Sonuçta oluşan bilgi, belirli düğümlerde ya da bağlantılarda yer almaz; dağıtık bir örüntüye sahiptir.
- *Beyin holografiktir.* Bir hologramdaki dağıtık bilgi ile bilginin beyin ağlarında saklanma yöntemi arasında bir benzeşim (analoji) vardır (*bkz.* aşağıda). Bu benzeşimi, nöron ağları, Markov modelleri ve genetik algoritmalar gibi bilgisayarlı örüntü tanıma işleminde kullanılan, kendiliğinden düzenlenme yöntemlerinde de görürüz.[18]
- *Beyin sık bağlantılı bir ağdır.* Beyin, esnekliğini, bilginin bir yerden bir yere giderken kullanabileceği birçok yol bulduğu, sık örülmüş bir ağ olmasından alır. internetin, kendisini oluş-

---

17 C. Geoffrey Woods, "Crossing the Midline," Science 304.5676 (4 Haziran 2004): 1455–1456; Stephen Matthews, "Early Programming of the Hypothalamo–Pituitary–Adrenal Axis," *Trends in Endocrinology and Metabolism* 13.9 (1 Kasım 2002): 373–380; Justin Crowley ve Lawrence Katz, "Early Development of Ocular Dominance Columns," *Science* 290.5495 (17 Kasım 2000): 1321–1324; Anna Penn vd, "Competition in the Retinogeniculate Patterning Driven by Spontaneous Activity," *Science* 279.5359 (27 Mart 1998): 2108–2112; M. V. Johnston vd, "Sculpting the Developing Brain," *Advances in Pediatrics* 48 (2001): 1–38; P. La Cerra ve R. Bingham, "The Adaptive Nature of the Human Neurocognitive Architecture: An Alternative Model," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95 (15 Eylül 1998): 11290–94.

18 Nöron ağları, kendiliğinden düzenlenebilen ve problem çözebilen nöronların basitleştirilmiş modelleridir. Nöron ağlarının algoritmik tanımı için *bkz.* beşinci bölümde 172. not. Genetik algoritmalar, kontrollü değişinim oranlarıyla eşeyli üreme yoluyla evrim modelleridir. Genetik algoritmaların ayrıntılı tanımı için *bkz.* beşinci bölümde 175. not. Markov modelleri, bazı yönleriyle nöron ağlarıyla benzerlik gösteren matematik yöntemlerin ürünleridir.

turan düğüm sayısı arttıkça daha yerleşik duruma gelmesindeki benzerliği düşünün. Düğümlerin, hatta internet ağının tüm bağlantı göbeklerinin çalışmaz duruma gelmesi ağın daralmasına neden olmayabilir. Benzer biçimde, beynin bütünlüğü etkilenmeden sürekli nöron kaybederiz.

- *Beynin mimarisi bölgeseldir.* Her ne kadar bir bölgedeki bağlantıların ayrıntıları, başlangıçta kısıtlamalar çerçevesinde rastlantısal olup kendiliğinden birleşse de, bölgeler arasındaki belirli bağlantı örüntüleriyle, belirli işlevleri yürüten yüzlerce bölgenin mimarisi söz konusudur.
- *Beynin bir bölgesinin tasarımı bir nöronun tasarımından basittir.* Üst düzeylere çıktıkça modeller basitleşir, karmaşıklaşmaz. Bir bilgisayardaki benzerliği düşünün. Bir transistör yapabilmek için yarı iletkenlerin fiziğini ayrıntılı olarak anlamamız gerekir, tek bir gerçek transistörün temelini oluşturan denklemler ise karmaşıktır. Yine de, yüzlerce transistör çalıştırsa da, iki sayıyı çarpan bir sayısal devreyi yalnızca birkaç formülle çok daha basit bir biçimde modellemek mümkündür. Birkaç sayfa yazılı metin ve matematik fonksiyonlarla tanımlanabilen komut kümesi ve kütük tanımı sayesinde, milyarlarca transistörü olan tam bir bilgisayarı modellemek mümkündür.

Bir işletim sistemi, dil derleyicisi ya da çeviricisi yazılımı oldukça karmaşıktır, ama belirli bir programın modellemesini –örneğin, Markov modeline dayanan bir konuşma tanıma programı– yalnızca birkaç sayfalık denklemlerle tanımlamak mümkündür. Böyle bir tanımın hiçbir yerinde yarı iletken fiziğine rastlamazsınız. Benzer bir gözlem beyin için de geçerlidir. Değişmez bir görsel özelliği (örneğin insan yüzünü) belirleyen ya da işitme bilgisi üzerinde bant–geçiren filtreleme (belirli bir frekans aralığında girdi kısıtlama) işlemi uygulayan veya iki olay arasındaki zamansal uzaklığı değerlendiren belli bir sinirsel düzen, ilgili süreçlerdeki nöro-ileticilerle diğer sinaps ya da dendrit değişkenlerini denetleyen gerçek fizik ya da kimya ilişkilerinden çok daha basit biçimde betimlenebilir. Bir üst düzeye (beynin modellenmesi) geçmeden önce bu sinirsel karmaşıklığın tamamının dikkatlice ele alınması gerekse de, beynin çalışma prensipleri kavrandığında sürecin büyük kısmı basitleştirilebilecektir.

Kendi Düşüncemizi Anlamaya Çalışmak: Araştırmanın İvmelenen Hızı

İnsan beynini anlama sürecimizin hızlanan seyrinde eğrinin dirseğine (hızlı üstel büyüme dönemi) yaklaşıyoruz. Ancak, bu alandaki çabalarımız uzun bir geçmişe dayanır. Düşüncemiz üzerine düşünme ve düşüncemizin modellerini kurma yeteneğimiz, türümüze özgü benzersiz bir niteliktir. İlk zihinsel modeller, ister istemez, yalnızca dışarıdan görülen davranışların gözlemlenmesine dayandırıldı (örneğin, Aristoteles'in 2350 yıl önce, insanın düşünceler arasında ilişki kurabilmesi yeteneği üzerine yaptığı çözümleme gibi).[19]

Yirminci yüzyılın başında, beynin *içindeki* fiziksel işlemleri incelemek için kullanılan araçları geliştirdik. İlk atılımlardan biri, sinirbilimin öncülerinden E. D. Adrian'ın 1928 yılında geliştirdiği bir yöntemle nöronlardaki elektrik üretimini ölçerek, beyinde elektrik süreçlerin oluştuğunu ortaya koymasıydı.[20] Adrian şöyle yazar: "Retina üzerine birtakım deneyler için bir kurbağanın görme siniri üzerine elektrotlar yerleştirmiştim. Oda hemen hemen karanlıktı, yükseltece bağlı hoparlörden arka arkaya, yüksek oranda atış hareketinin olduğunu gösteren sesleri duyunca şaşırdım. Kurbağanın gözündeki görme alanına girmiş olduğumu ve gözün, benim hareketlerimin sinyallerini yaydığını ancak bu sesleri kendi devinimimle karşılaştırınca anladım."

Adrian'ın bu deneyden çıkardığı sonuç, bugüne kadar sinirbilimin temel taşlarından birini oluşturmuştur: Duyu sinirinden gelen atışların frekansı, ölçülen duyumsal olgunun yoğunluğuyla orantılıdır. Örneğin, ışığın yoğunluğu ne kadar fazlaysa, retinadan beyne giden nöron atışlarının frekansı (bir saniyedeki atış) o kadar yüksektir. Alana kalıcı katkıda bulunan diğer bir kişi, Adrian'ın öğrencilerinden Horace Barlow,

19 Aristoteles, *The Works of Aristotle*, çev. W. D. Ross (Oxford: Clarendon Yayınları, 1908–1952 (*özellikle bkz. Physics*); ayrıca *bkz.* http://www.encyclopedia.com/html/section/aristotl_ philosophy.asp.

20 E. D. Adrian, *The Basis of Sensation: The Action of Sense Organs* (Londra: Christophers, 1928).

kurbağa ve tavşanların retinalarında belirli şekilleri, açıları ya da hızları "gördüğünde" tetiklenen bir nöronun varlığını keşfederek, nöronlardaki "tetikleme özelliğini" ortaya koymuştur. Bir başka deyişle, algılama, her nöron tabakasının imgenin daha ayrıntılı özelliklerini tanıdığı bir dizi aşamadan geçerek gerçekleşiyordu.

1939 yılında nöronların nasıl çalıştığı hakkında fikir edinmeye başladık: Girdilerini biriktirdikten (ekledikten) sonra (bir sinapsla diğer nöronlara bağlanan) nöron aksonu boyunca membran iletkenliğinde iğnecik (nöron membranının bir sinyali iletebilme yeteneğindeki ani yükselme) ve gerilim üreten A. L. Hodgkin ile A. F. Huxley, kuramlarını aksonun "eylem potansiyeli" (voltaj) olarak tanımladılar.[21] 1952'de ise bir hayvanın nöron aksonunun eylem potansiyelini gerçekten ölçtüler.[22] Ölçümde, boyutları ve erişilebilir anatomileri nedeniyle ahtapotun nöronlarını kullandılar.

W. S. McCullough ile W. Pitts 1943'te, Hogdkin ile Huxley'nin sağladıkları bilgilere dayanarak, yapay (simüle edilmiş) nöron ağları üzerinde nöronların ve nöron ağlarının basitleştirilmiş bir modelini geliştirdiler; bu çalışma, yarım yüzyıllık (beyinde nöronların ağ düzeninde çalışmasını simüle etmek için bir bilgisayar programının kullanıldığı) bir çalışmayı başlatacaktı. Model, 1952 yılında Hodgkin ve Huxley tarafından daha da geliştirildi. Gerçek nöronların bu ilk modellerden çok daha karmaşık olduğunu şimdi bilsek de, bu ilk düşüncenin kalıcı bir önemi vardır. Bu temel nöron ağı modelinde her sinapsın (bağlantının "gücünü" gösteren) bir "ağırlığı" ve nöron somasında (hücre gövdesi) bir doğrusalsızlık (ateşleme eşiği) vardır.

21 A. L. Hodgkin ve A. F. Huxley, "Action Potentials Recorded from Inside a Nerve Fibre," *Nature* 144 (1939): 710–712.

22 A. L. Hodgkin ve A. F. Huxley, "A Quantitative Description of Membrane Current and Its Application to Conduction and Excitation in Nerve," *Journal of Physiology* 117 (1952): 500–544.

Nöron somasına gelen ağırlıklı girdilerin toplamı yükselirken, nörondan, aksonlarının çıktısını hızla artırdığı ve ateşlediği hassas bir eşiğe ulaşılıncaya kadar çok az yanıt alınır. Farklı nöronlar farklı eşiklere sahiptir. Son araştırmalar, yanıtın gerçekte bundan çok daha karmaşık olduğunu gösterse de, McCullough–Pitts ve Hodgkin–Huxley modelleri özde yine geçerlidir.

Bu bilgiler, bağlantıcılık olarak bilinen bir alanda, yapay nöron ağları oluşturmayı hedefleyen çok sayıda çalışmanın başlamasını sağladı. Bu, bilgi işlem alanında ortaya çıkan belki de ilk kendiliğinden düzenlenme paradigmasıydı.

Kendiliğinden düzenlenen bir sistemin kilit gereklerinden biri doğrusalsızlık, yani, yalnızca girdilerin ağırlıklı toplamları olmayan çıktılar oluşturmanın bazı yollarıdır. İlk nöron ağı modelleri, nöron çekirdeği kopyalarında bu doğrusalsızlığı sağlıyorlardı.[23] (Temel nöron ağı modelinin anlaşılması kolaydır.)[24] Alan Turing'in aynı sıralarda başlattığı, bilgi işlemin kuramsal modelleri üzerine çalışmaları da bilgi işlemin doğrusalsızlık gerektirdiğini göstermiştir. Yalnızca girdilerinin ağırlıklı toplamlarını oluşturan bir sistem, bilgi işlemin temel gereksinimlerini yürütemez.

Bugün, gerçek biyolojik nöronların, sinapsların elektrokimyasal eylemleri ile dendritlerin morfolojisinden (biçimlerinden) kaynaklanan başka birçok doğrusalsızlıkları olduğunu biliyoruz. Biyolojik nöronların farklı düzenleri, diğer birçoğunun yanı sıra toplama, çıkarma, çarpma, bölme, ortalama hesaplama, filtreleme, normalleştirme, eşik sinyalleri gibi işlemleri de yürütebilirler.

23 W. S. McCulloch ve W. Pitts, "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity," *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5 (1943): 115–133. Bu ufuk açıcı makale anlaşılması zor bir yazıdır. Net bir tanıtım ve açıklama için *bkz.* "A Computer Model of the Neuron," Zihin Projesi, Illinois Eyalet Üniversitesi, http://www.mind.ilstu.edu/curriculum/perception/mpneuron1.html.

24 Nöron ağlarının algoritmik tanımı için *bkz.* beşinci bölüm 172. not.

Nöronların çarpma işlemini yapabilmesi önemlidir, çünkü bu işlem beyindeki bir nöron ağının davranışının diğer bir ağın bilgi işlem sonuçları tarafından değiştirilebilmesini (etkilenmesini) sağlar. Maymunlar üzerinde elektrofizyolojik ölçüm uygulayan deneyler, bir imgenin işlenmesi sırasında, görme korteksinde oluşan nöronların sinyalleme hızının, maymunun dikkatini o imgenin belirli bir bölgesine yöneltip yöneltmediğiyle bağlantılı olarak değiştiğiyle (artıp azaldığıyla) ilgili kanıtlar ortaya koymaktadır.[25] İnsanda işlevsel manyetik rezonans görüntüleme çalışmaları ayrıca, dikkatin bir imgenin belli bir bölgesine verilmesinin, devinimleri saptamaktan sorumlu, V5 adı verilen kortikal bölgede o imgeyi işleyen nöronların tepki verme düzeyini artırdığını da göstermiştir.[26]

Bir diğer önemli gelişme, 1949'da, Donald Hebb'in sinirsel öğrenme konusuna yenilikler getiren "Hebbian yanıtı" kuramını sunmasıyla yaşandı: Aralıksız olarak uyarılan bir sinaps (ya da bir sinaps grubu) güçlenir. Sinapsın bu şartlanması, zaman içinde öğrenme tepkisi oluşturur. Bağlantıcılık hareketi, bu modele dayanarak nöron ağlarının bir simülasyonunu yaptı ve bu da, 1950'ler ile 1960'larda benzer deneylere hız kazandırdı.

1969'da MIT'den Marvin Minsky ile Seymour Papert'in *Perceptrons* [*Algılayıcılar*] adlı kitabı yayımlamalarıyla bağlantıcılık hareketinde bir gerileme yaşandı.[27] Kitap, o dönemde kullanılan en yaygın (ve en basit) tipteki (Cornell'den Frank Rosenblatt'ın öncülüğünü yaptığı, Perseptron adı verilen) nöron ağının, çizilen bir hattın tümüyle bağlantılı olup olmadığının belirlenmesi sorununu bile çözemediğini kanıtlayan

25 E. Salinas ve P. Thier, "Gain Modulation: A Major Computational Principle of the Central Nervous System," *Neuron* 27 (2000): 15–21.

26 K. M. O'Craven ve R. L. Savoy, "Voluntary Attention Can Modulate fMRI Activity in Human MT/MST," *Investigational Ophthalmological Vision Science* 36 (1995): S856 (ek).

27 Marvin Minsky ve Seymour Papert, *Perceptrons* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1969).

kilit bir teoremi içeriyordu.[32] Sinir-ağ hareketi, "geri yayılma" adı verilen bir yöntemin kullanılmasıyla 1980'lerde yeniden canlandı. Bu yöntemde, simüle edilen her sinapsın gücü, ağın doğru yanıtı eşleştirmeyi "öğrenmesi" için, her eğitim denemesinin ardından yapay nöronun ağırlığını (çıktının gücü) ayarlayan bir öğrenme algoritması kullanılarak belirleniyordu.

Ancak, geri yayılma yöntemi, gerçek biyolojik bir nöron ağındaki sinaptik ağırlıkları eğitmek için uygulanabilir bir model değildir; çünkü memelilerin beyninde sinaptik bağlantıların gücünün fiilen ayarlanması amacıyla kullanılabilecek, geriye dönük bağlantılar görülmemektedir. Bilgisayarlarda ise bu tür kendiliğinden düzenlenen bir sistem çok çeşitli örüntü tanıma problemlerini çözebilir, kendiliğinden düzenlenen bağlantılı nöronların bu basit modelinin gücü de zaten kanıtlanmıştır.

Hebb'in ikinci öğrenme biçimi daha az bilinir: Bir nöronun uyarılmasının yansılanmaya (döngüdeki nöronların, aralıksız olarak yeniden uyarılmalarına) neden olarak (büyük olasılıkla diğer katmanlar yoluyla) kendi kendini beslediği varsayımsal bir döngü. Hebb, bu tür yansılanmanın, kısa dönemli öğrenmenin kaynağı olabileceğini kabul etmenin yanında, kısa dönemli yansılanmanın uzun süreli belleğe yol açabileceğini de öne sürdü: "Bu durumda, yansılanan bir etkinliğin (ya da 'iz'in) sürekliliğinin ya da yinelenmesinin bu değişmezliğe katkıda bulunacak kalıcı hücresel değişikliklere yol açma eğilimi gösterdiğini varsayalım. Varsayım tam olarak şöyle ifade edilebilir. A hücresindeki bir akson, B hücresine onu uyarabilecek kadar yakın ise ve aralıksız ya da ısrarla ona doğru ateşleme yaparsa, bu hücrelerden birinde ya da her ikisinde, B'yi ateşleyen hücrelerden biri olarak A'nın verimliliğinin arttığı bir büyüme süreci ya da metabolizma değişikliği gerçekleşir."

28 Frank Rosenblatt, Cornell Havacılık Laboratuvarı, "The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain," *Psychological Review* 65.6 (1958): 386–408; *bkz.* Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Perceptron.

Hebb'in, yansılanan belleği, sinaptik öğrenme kadar sağlam oluşturulmuş olmasa da, son zamanlarda örnekleri ortaya çıkarılmıştır. Örneğin, belli görsel örüntüler gösterildiği zaman, uyarıcı nöron grupları (sinapsları uyaranlar) ile yavaşlatıcı nöronlar (uyarıyı bloke edenler) titreşmeye başlar.[29] MIT ile Lucent Technologies'in Bell Laboratuvarından araştırmacılar da transistörlerden oluşan ve on altı uyarıcı nöronun ve bir inhibitör nöronun eylemini simüle edip beyin korteksinin biyolojik devresini taklit eden elektronik bir tümleşik devre oluşturmuşlardır.[30]

Nöronun ve hücre bilgisinin işlenmesinin bu ilk modelleri fazlasıyla basit ve bazı yönlerden hatalı da olsalar, bu kuramların geliştirildiği sıralarda elimizdeki verilerin ve araçların eksikliği düşünüldüğünde kayda değerdir.

Beynin İçine Bakmak

Araçlarımızdaki işleyişle, sesi, bu moleküllerin kendi çaplarından daha küçük uzaklıklardaki en küçük devinimlerini bile görebilecek ölçülere indirgemeyi başardık. ... [Bu] tür deneyler, daha on beş yıl önce boş bir umuttu.

—Steven Block, Stanford Üniversitesi, Biyoloji Bilimleri ve Uygulamalı Fizik Profesörü

Bir bilgisayar üzerinde, hakkında hiçbir şey bilmeden ters mühendislik işlemi uygulamaya çalıştığımızı düşünün ("kara kutu" yaklaşımı). İşe, aygıtın çevresine manyetik algılayıcı sıraları yerleştirmekle başlayabiliriz. Bir veri tabanını güncelleyen işlemler sırasında, belli bir devre levhasında belirgin bir etkinlik oluştu-

29 O. Sporns, G. Tononi ve G. M. Edelman, "Connectivity and Complexity: The Relationship Between Neuroanatomy and Brain Dynamics," *Neural Networks* 13.8–9 (2000): 909–922.

30 R. H. Hahnloser vd, "Digital Selection and Analogue Amplification Coexist in a Cortex-Inspired Silicon Circuit," *Nature* 405.6789 (22 Haziran 2000): 947–951; "MIT and Bell Labs Researchers Create Electronic Circuit That Mimics the Brain's Circuitry," *MIT News*, 21 Haziran 2000, http://web.mit.edu/newsoffice/nr/2000/machinebrain.html.

ğunu fark ederiz. Bu işlemler sırasında ayrıca, sabit disk üzerinde de hareket olduğunu kaydederiz. (Gerçekten de sabit diskin sesini dinlemek, üstünkörü de olsa her zaman, bilgisayarın ne yaptığını anlamanın bir yolu olmuştur.)

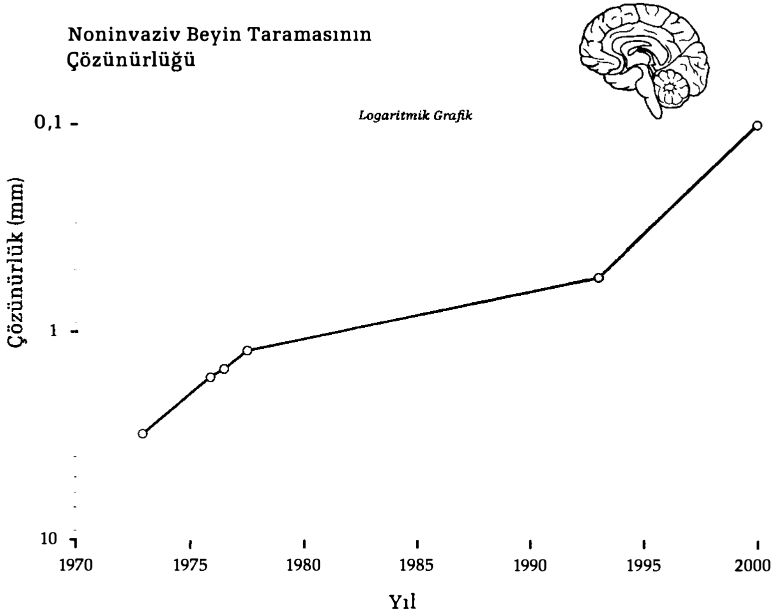
Sonra, diskin, veri tabanının saklandığı uzun soluklu bellekle bir ilişkisi olduğunu ve bu işlemler sırasında etkin olan devre levhasının saklanacak verinin aktarılmasıyla uğraştığını varsayabiliriz. Bunlar bize, işlemin yaklaşık olarak nerede ve ne zaman gerçekleştiğini söyler ama bu işlerin nasıl başarıldığı hakkında görece az şey söyler.

Eğer bilgisayar kayıt kütükleri (geçici bellek konumları) ön panel lambalarına (ilk bilgisayarlarda olduğu gibi) bağlı olsalardı, bilgisayarın verileri analizi sırasında bu kayıt kütüklerinin durumlarındaki hızlı değişimleri, bilgisayarın bilgi ilettiği sırada da görece yavaş değişimleri belli aralıklarla yanıp sönerek belirttiğini görebilirdik. Ardından, bu ışıkların, bir tür analitik davranış sırasındaki mantık durumunda ortaya çıkan değişiklikleri yansıttığını önerebilirdik. Bu bilgiler doğru ancak ham bilgi olurdu ve bize işlemin kuramı ya da bilginin gerçekte nasıl kodlandığı veya dönüştürüldüğü hakkında bir fikir veremezdi.

Yukarıda betimlenen varsayımsal durum, geçmişte sahip olduğumuz, insan beyninin taranması ve modellenmesi amacıyla tam gelişmemiş araçlarla girişilen türden çabaları yansıtmaktadır. İşlevsel manyetik rezonans görüntüleme, manyetik beyin grafisi ve aşağıda irdelenen diğerleri gibi yöntemlerin kullanıldığı çağdaş beyin tarama araştırmalarına dayanan modellerin çoğu, temeldeki mekanizmalar hakkında yalnızca bir fikir verebilmektedir. Bu çalışmalar değerlidir, ancak henüz olgunlaşmamış uzaysal ve zamansal çözünürlükleri beynin belli başlı özellikleri üzerinde ters mühendislik işlemi uygulanabilmesi için yeterli değildir.

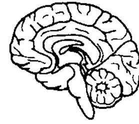
Yeni Beyin Tarama Araçları. Şimdi, yukarıdaki bilgisayar örneğimizde, devrenin belirli noktalarına hassas algılayıcılar yerleştirebildiğimizi, bu algılayıcıların da belirli sinyalleri çok yüksek hızda izleyebildiğini düşünün. Dönüştürülen gerçek bilgiyi gerçek zamanlı izleyebilecek araçlar artık elimizde var, devrelerin gerçekte nasıl çalıştıklarının ayrıntılı bir betimlemesini de yapabi-

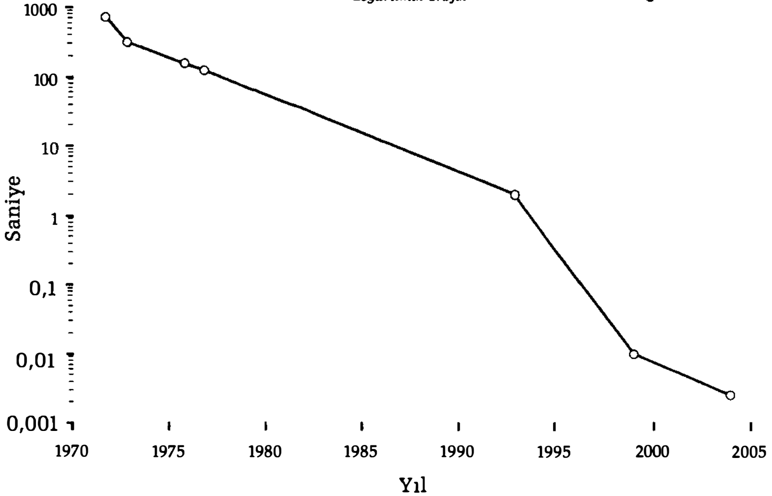
liriz. Aslında bu, elektrik mühendislerinin bilgisayar sinyallerini görselleştiren mantık çözümleyiciler kullanarak bilgisayar kartları gibi devreleri anlamak ve hatalarını ayıklamak için (örneğin, bir rakip şirketin ürettiği bilgisayarda ters mühendislik işlemi için) yaptıkları uygulamadır. Sinirbilim, bu türden analizi başarabilecek algılayıcı teknolojisine henüz erişmemiştir, ama bu durum değişmek üzeredir. Beynimizin içini yakından görmemizi sağlayacak araçlarımız üstel hızla gelişiyor. Noninvaziv beyin tarama aygıtlarının çözünürlüğü yaklaşık her on iki ayda bir (birim hacim başına) ikiye katlanıyor.[31]



Beyin tarama görüntüsünün yeniden oluşturulmasının hızında kıyaslanabilir iyileşmeler görüyoruz:

31 Manuel Trajtenberg, *Economic Analysis of Product Innovation: The Case of CT Scanners* (Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1990); Dr. Michael H. Friebe, NEUROMED GmbH şirketinin başkanı ve icra kurulu başkanı; P–M. L. Robitaille, A. M. Abduljalil ve A. Kangarlu, "Ultra High Resolution Imaging of the Human Head at 8 Tesla: 2K x 2K for Y2K," *Journal of Computer Assisted Tomography* 24.1 (Ocak–Şubat 2000): 2–8.





Beyin tarama imgesinin yeniden oluşturulmasının hızında kıyaslanabilir iyileşmeler görüyoruz.

En çok kullanılan beyin tarama aracı olan fMRI, bire üç milimetrelik görece yüksek uzaysal çözünürlük (nöronları ayrı ayrı görüntüleyebilecek kadar yüksek değildir), ama birkaç saniyelik düşük zamansal (süre) çözünürlük sağlamaktadır. Yeni kuşak fMRI teknolojisi yaklaşık bir saniyelik ya da ince bir beyin dilimi için saniyenin onda biri zamansal çözünürlük sağlayabilmektedir.

Çok kullanılan diğer bir yöntem ise, kafatasının dışından, temel olarak korteksteki piramidal nöronların oluşturduğu zayıf manyetik alanları ölçen manyetik beyin grafisidir. Manyetik beyin grafisi (MEG), hızlı (bir milisaniye) zamansal çözünürlük sağlama yeteneğine sahiptir; ama yalnızca çok kabataslak, yaklaşık bir santimetrelik uzaysal çözünürlük sağlar.

Redwood Sinirbilim Enstitüsünün baş araştırmacılarından Fritz Sommer, ölçümlerin uzaysal–zamansal kesinliğini iyileştirmek amacıyla fMRI ile MEG'i birleştirmenin yöntemleri geliştirmektedir. Son dönemlerdeki diğer gelişmeler de, yalnızca bir mi-

limetrenin kesri kadar genişlikte, sütunlu ve katmanlı yapılar adı verilen bölgeleri eşleştirme ve onlarca milisaniye süren işlemleri saptama yeteneğine sahip fMRI tekniklerini ortaya koymuştur.[32]

Hem fMRI hem de pozitif elektron kullanan ve pozitron emisyon tomografi (PET) adı verilen bir tarama yöntemi, nöronun etkinliğini dolaylı yollardan ölçer. PET, bölgesel beyin kan akımını (rCBF) ölçerken, fMRI kan–oksijen düzeylerini ölçer.[33] Bu kan akım miktarlarının sinirlerin etkinliğiyle ilişkisi birtakım tartışmalara konu da olsa, bunların nöron iğneciklerini değil, yerel sinaptik etkinliği yansıttığı konusunda görüş birliği vardır. Nöron etkinliklerinin kan akımıyla ilişkisinden, ilk kez on dokuzuncu yüzyılın sonlarında söz edilmiştir.[34] Bununla birlikte, kan akımının sinaptik etkinlikle ilişkisinin dolaysız olmaması, fMRI'ı kısıtlayan konulardan biridir: Bu iki olgu arasındaki ilişki, çeşitli metabolik mekanizmalar tarafından etkilenmektedir.

Ancak, hem PET'in hem de fMRI'nin, beynin durumundaki göreli değişimleri ölçmenin en güvenilir yöntemleri olduğuna inanılmaktadır. İkisinde de kullanılan temel yöntem, belli işleri yürütürken çok etkin olan bölgeleri gösterebilen "eksiltme paradigmasıdır."[35] Bu işlemde, deneğin herhangi bir işlem *yürütmediği* sırada alınan tarama sonuçları, deneğin belirli bir zihinsel etkinlik *yürüttüğü* sırada alınan verilerden çıkartılır. Aradaki fark, beynin durumundaki değişimi gösterir.

Yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlük sağlayan invaziv bir yöntem "optik görüntüleme" yöntemidir. Bu yöntemde kafatasının bir parçası kaldırılır, canlı beyin dokusu sinirsel etkinlik üzerin-

---

32 Seong–Gi Kim, "Progress in Understanding Functional Imaging Signals," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100.7 (1 Nisan 2003): 3550–3552, http://www.pnas.org/cgi/content/full/100/7/3550. *Ayrıca bkz.* Seong--Gi Kim vd, "Localized Cerebral Blood Flow Response at Submillimeter Columnar Resolution," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98.19 (11 Eylül 2001): 10904-9, http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/98/19/10904.

33 K. K. Kwong vd, "Dynamic Magnetic Resonance Imaging of Human Brain Activity During Primary Sensory Stimulation," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 89.12 (15 Haziran 1992): 5675–5679.

34 C. S. Roy ve C. S. Sherrington, "On the Regulation of the Blood Supply of the Brain," *Journal of Physiology* 11 (1890): 85–105.

35 M. I. Posner vd, "Localization of Cognitive Operations in the Human Brain," *Science* 240.4859 (17 Haziran 1988): 1627–1631.

de ışıma etkisi yapan bir boyayla boyanır, yayılan ışık sayısal bir kamerayla görüntülenir. Optik görüntüleme cerrahi müdahale gerektirdiğinden, çoğunlukla hayvanlar, özellikle de fareler üzerinde yapılan deneylerde kullanılmıştır.

Beynin, farklı bölgelerindeki işlevselliğinin belirlenmesinde kullanılan bir başka yaklaşım transkraniyal manyetik stimülasyondur (TMS). Bu yöntemde, başın tam üzerine yerleştirilen manyetik bir bobin kullanılarak kafatasının dışından verilen güçlü akımlarla bir manyetik alan oluşturulur. Beynin küçük bölgeleri uyarılarak ya da bu bölgelerde (geçici etkisizleştirme yoluyla) "sanal bir doku bozukluğu" yaratılarak beyin yetenekleri azaltılabilmekte ya da artırılabilmektedir.[36] TMS ayrıca belirli işlerde beynin farklı bölgeleri arasındaki ilişkinin incelenmesi için kullanılabilmekte, hatta mistik deneyim duygusu bile yaratılabilmektedir.[37] Beyin bilimcisi Allan Snyder, TMS aygıtına bağlanan deneklerinin yaklaşık yüzde 40'ının, resim yapma becerileri gibi, çoğu olağanüstü birçok önemli yeni yetenek sergilediklerini bildirmiştir.[38]

Taradığımız beyni bozabilme seçeneğimiz olsaydı, çok daha yüksek uzaysal çözünürlük elde edilmesi mümkün olurdu. Henüz tüm bağlantıların tam haritasının çıkarılmasına yetecek hızda ya da bant genişliğinde olmasa da, günümüzde, dondurulmuş bir beyin taranabilmektedir. Ancak beyin taramanın tüm diğer yönlerinde olduğu gibi bu potansiyel de, yine, ivmelenen getiriler yasasına göre üstel olarak gelişmektedir.

Carnegie Mellon Üniversitesinden Andreas Nowatzky, bir farenin beyni ile bedeninin sinir sistemini iki yüz nanometreden düşük çözünürlükte taramaktadır; bu çözünürlük de ayrıntılı ters mühendislik işlemi için gereken çözünürlüğe yakındır. Yine beyne zarar veren bir tarayıcı olan, Texas A&M Üniversitesi Beyin Ağları Laboratuvarında geliştirilen "Beyin Dokusu Tarayıcısı," bir fare-

36 F. M. Mottaghy vd, "Facilitation of Picture Naming after Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation," *Neurology* 53.8 (10 Kasım 1999): 1806–1812.

37 Daithí Ó hAnluain, "TMS: Twilight Zone Science?" *Wired News*, 18 Nisan 2002, http://wired.com/news/medtech/0,1286,51699,00.html.

38 Lawrence Osborne, "Savant for a Day," *New York Times Magazine*, 22 Haziran 2003, http://www.wireheading.com/brainstim/savant.html adresinden erişilebilir.

nin beyninin tamamını 250 nanometrelik çözünürlükte, dilimler halinde bir ayda tarayabilmektedir.[39]

Gelişen Çözünürlük. Şu anda geliştirilmekte olan birçok yeni beyin tarama teknolojisi hem uzaysal hem de zamansal çözünürlüğü çarpıcı biçimde iyileştirmektedir. Bu yeni kuşak algılama ve tarama sistemleri, eşi görülmemiş incelikteki ayrıntı düzeylerinde modellemeyi mümkün kılan araçları sağlamaktadırlar. Yeni gelişmekte olan bu görüntüleme ve algılama sistemlerine bazı örnekler verebiliriz.

Heyecan verici yeni bir tarama alıcısı Pennsylvania Üniversitesinin, Leif H. Finkel yönetimindeki Nöron Mühendisliği Araştırma Laboratuvarında geliştirilmektedir.[40] Optik sistemin oluşturduğu uzaysal çözünürlük, nöronları teker teker görüntüleyebilecek yükseklikte ve her nöronun ateşlemesini kaydetmeye yetecek bir milisaniye zaman çözünürlüğünde olacaktır.

İlk sürümler, alıcıdan on mikrona kadar derinlikte bulunan yaklaşık yüz hücreyi aynı anda tarayabilmektedir. Gelecek bir sürüm ise, bin hücreyi eşzamanlı olarak ve alıcıdan 150 mikron uzaklıktan, milisaniye altı zamansal çözünürlükle görüntüleyebilecektir. Beynin yüzeyinin açıkta olması gerekse de, sistem, bir hayvanın zihinsel bir işi yürüttüğü sırada nöron dokusunu *in vivo* (canlı bir beyinde) tarayabilmektedir. Nöron dokusu, gerilime bağlı ışıma üretmek üzere boyanır, ışıma yüksek çözünürlüklü alıcıyla algılanır. Bu tarama sistemi, hayvanların beyinlerinin, belirli algısal becerileri öğrenmelerinden önce ve sonra incelenmesinde kullanılacaktır. Sistem, MEG'in hızlı (bir milisaniye) zamansal çözünürlüğünü kullanmakta ve aynı zamanda tek tek nöronlarla bağlantıları görüntüleyebilmektedir.

Nöronları, hatta bir nöronun belirli bir bölümünü noninvaziv olarak, hem zamansal hem de uzaysal doğrulukla etkinleştirme

---

39 Bruce H. McCormick, "Brain Tissue Scanner Enables Brain Microstructure Surveys," *Neurocomputing* 44–46 (2002): 1113–1118; Bruce H. McCormick, "Design of a Brain Tissue Scanner," *Neurocomputing* 26–27 (1999): 1025–1032; Bruce H. McCormick, "Development of the Brain Tissue Scanner," Beyin Ağları Laboratuvarı Teknik Raporu, Texas A&M Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, College Station, Texas, 18 Mart 2002, http://research.cs.tamu. edu/bnl/pubs/McC02.pdf.

40 Leif Finkel vd, "Meso-scale Optical Brain Imaging of Perceptual Learning," Pennsylvania Üniversitesi hibesi 2000-01737 (2000).

yöntemleri de geliştirilmiştir. Fotonları içeren bir yaklaşım, doğrudan "çift fotonlu" uyarma kullanan "TPLSM: Çift Fotonlu Lazer Tarayıcı Mikroskopidir."[41] Bu, üç boyutlu uzayda çok yüksek çözünürlükte tarama sağlayan tek bir odak noktası oluşturur. Bir saniyenin milyarda birinin milyonda biri (10^{-15} saniye) süreli lazer atımları kullanarak, zarar görmeyen beynin tek sinapslarındaki uyarılmayı, sinaptik reseptörlerin etkinleşmesiyle biriken hücre içi kalsiyumu ölçerek saptar.[42] Yöntem, önemsiz düzeyde dokuyu bozsa da, tek tek etkin dendrit omurgaları ile eylem halindeki sinapsların son derece yüksek çözünürlükteki görüntülerini vermektedir.

Bu yöntem, olağanüstü hassas hücre içi ameliyatlarda kullanılmıştır. Fizikçi Eric Mazur ile Harvard Üniversitesindeki çalışma arkadaşları, yöntemin hücre üzerinde, hücrenin diğer bileşenlerini etkilemeden bir nöronun bağlantısını kesmek ya da tek bir mitokondriyi (hücrenin enerji kaynağı) yok etmek gibi hassas değişiklikler yapabilme yeteneğini kanıtlamışlardır. Mazur'un meslektaşı Donald Ingber bunu, "Güneş kadar ısı üretiyor," diye anlatmaktadır, "ancak yalnızca bir saniyenin kentilyonda biri kadar bir süre için ve çok dar bir alanda."

"Çok elektrotlu kayıt" adı verilen bir diğer yöntem de bir dizi elektrot kullanarak çok sayıdaki nöronun etkinliğini çok yüksek (milisaniye altı) zamansal çözünürlükle kaydetmektedir.[43] Cornell Üniversitesinin lisansüstü öğrencilerinden baş geliştirici Daniel Dombeck, ayrıca, ikinci uyumlu nesil (SHG) mikroskopi adı verilen noninvaziv bir tekniğin, "devinim halindeki hücreleri inceleyebildiğini" anlatmaktadır. Optik bağdaşım görüntüleme (OCI) adı verilen bir diğer yöntemdeyse hücre öbeklerinin holografik üç boyutlu imgelerini oluşturmak için eşevreli ışık (aynı evrede dizilen ışık dalgaları) kullanılmaktadır.

---

41 E. Callaway ve R. Yuste, "Stimulating Neurons with Light," *Current Opinions in Neurobiology* 12.5 (Ekim 2002): 587–592.

42 B. L. Sabatini ve K. Svoboda, "Analysis of Calcium Channels in Single Spines Using Optical Fluctuation Analysis," *Nature* 408.6812 (30 Kasım 2000): 589–593.

43 John Whitfield, "Lasers Operate Inside Single Cells," *News@nature.com*, 6 Ekim 2003, http://www.nature.com/nsu/030929/030929-12.html (abonelik gerekir). Mazur'un laboratuvarı: http://mazur-www.harvard.edu/research/. Jason M. Samonds ve A. B. Bonds, "From Another Angle: Differences in Cortical Coding Between Fine and Coarse Discrimination of Orientation," *Journal of Neurophysiology* 91 (2004): 1193-1202.

Nanobot ile Tarama. Beyni kafatasının dışından tarayan bu noninvaziv yöntemler ne kadar hızla gelişse de, belli başlı sinirsel ayrıntıların her birinin yakalanabilmesi için en sağlam yaklaşım, içeriden taramak olacaktır. 2020'lere geldiğimizde nanobot teknolojisi işlerlik kazanmış, beyin tarama ise en önemli uygulama alanlarından biri olacaktır. Daha önce betimlendiği gibi nanobotlar, insana ait bir kan hücresi büyüklüğünde (yedi–sekiz mikron) ya da daha küçük olabilecek robotlardır.[44] Beynin bir kılcal damarından milyarlarcası geçebilecek, her nöron özelliğini yakından tarayabilecek. Nanobotlar, yüksek hızda kablosuz iletişim kullanarak birbirleriyle ve beyin tarama veri tabanını derleyen bilgisayarlarla iletişim kurabilecekler. (Bir başka deyişle, nanobot ve bilgisayarlar kablosuz yerel ağ üzerinden çalışacaklar.)[45]

Nanobotları biyolojik beyin yapılarıyla etkileşime sokmanın önündeki kilit teknik zorluk, kan–beyin engelidir. On dokuzuncu yüzyılın sonlarında bilim insanları bir hayvanın kan dolaşım sistemine mavi boya enjekte ettiklerinde, hayvanın omuriliği ve beyni hariç bütün organlarının mavi renge döndüğünü fark ettiler. Bu keşif onları, beyni, kandaki zararlı olabilme potansiyeli taşıyan bakteriler, hormonlar, nöro-iletici görevi görebilecek kimyasallar ve diğer toksinler de dahil birçok maddeden koruyan bir engelin bulunduğu varsayımına götürdü. Bu, doğru bir varsayımdı. Yalnızca oksijen, glikoz ve çok az sayıdaki diğer moleküller kan damarlarından çıkarak beyne girebilmektedir.

Yirminci yüzyılın başlarında yapılan otopsiler, beyindeki ve diğer sinir sistemi dokularındaki kılcal damarların dizilişlerinin aslında, diğer organlardaki benzer büyüklükteki damarlardan çok daha fazla endotelyal hücre içerdiğini ortaya koydu. Daha yakın dönemdeki çalışmalar ise, kan–beyin engelinin, beyne giriş için anahtar ve şifreler gerektiren tam bir ağ geçidi özelliği taşıyan, karmaşık bir sistem olduğunu gösterdi. Örneğin, zonulin ve zot adlı iki proteinin beyindeki reseptörlerle etkileşime girerek kan–

44 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine,* cilt 2A, *Biocompatibility,* bölüm 15.6.2, "Bloodstream Intrusiveness," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2003), s. 157–159, http://www.nanomedicine.com/NMIIA/15.6.2.htm.

45 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine,* cilt 1, *Basic Capabilities,* bölüm 7.3, "Communication Networks," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 186–188, http://www.nanomedicine.com/NMI/7.3.htm.

beyin engelini belli bölgelerde geçici olarak açtıkları keşfedildi. Bu iki protein, ince bağırsakta glikoz ve diğer besin maddelerinin sindirimini sağlamak için reseptörlerin açılmasında benzer bir rol üstlenmektedir.

Nanobotların beyin taraması ya da beyinle başka bir biçimde etkileşimi için yapılacak herhangi bir tasarımının kan–beyin engelini dikkate alması gerekecektir. Burada, geleceğin yetenekleri düşünüldüğünde uygulanabilecek birkaç stratejiyi vermek istiyorum. Önümüzdeki çeyrek yüzyılda kuşkusuz başka stratejiler de geliştirilecektir.

- Açık olan bir taktik, nanobotu, kan–beyin engelinin içinden kayıp geçebilecek kadar küçük yapmaktır; ama bu, en azından bugün aklımızda canlandırdığımız nano teknolojiyle en elverişsiz yaklaşımdır. Bunu yapabilmek için nanobotun yirmi nanometre ya da daha az bir çapının olması gerekir, bu da yüz karbon atomu büyüklüğündedir. Bir nanobotun bu boyutlarla sınırlanması işlevlerini de ciddi ölçüde sınırlayacaktır.
- Bir ara strateji, kan dolaşımında tutulan nanobotun, kan–beyin engelinin içinden, nöronları çevreleyen hücre dışı sıvıya bir robot kolu uzatmasıdır. Bu, nanobotun bilgi işlem ve dolaşma için yeterli kaynaklara sahip olabilecek büyüklükte olmasını sağlayacaktır. Hemen hemen tüm nöronlar kılcal damarlara iki ya da üç hücre genişliği uzaklıkta bulunduklarına göre, kolun yalnızca elli mikron kadar uzanması gerekecektir. Rob Freitas ve diğerlerinin çözümlemeleri, böyle uzaktan çalışan bir aygıtın yirmi nanometrenin altında bir genişlikle sınırlanmasının uygulanabilir olduğunu göstermektedir.
- Bir başka yaklaşım da nanobotları kılcal damarlarda tutarak noninvaziv tarama uygulamaktır. Örneğin, Finkel ve çalışma arkadaşlarınca tasarlanmakta olan tarama sistemi, 150 mikron derinliğe kadar çok yüksek çözünürlükte (tek tek bağlantıları görebilecek yeterlikte) tarama yapabilmektedir; bu da gereksindiğimizden birkaç kat daha yüksektir. Böylesi bir optik görüntüleme sisteminin (çağdaş tasarımlara kıyasla) büyük oranda minyatürleştirilmesi gerektiği açık olmakla birlikte, sistem boyutun bu biçimde küçültülmesine yatkın olan yük–bağlaşık aygıt algılayıcıları kullanmaktadır.

- Diğer bir noninvaziv tarama türü ise, çift fotonlu tarayıcının sinyallerine benzer odaklı sinyaller yayan bir grup nanobot ve iletimi alacak bir başka grup nanobotu içeren tarama olabilecek. Araya girecek dokunun topolojisi, alınan sinyal üzerindeki etkinin çözümlenmesiyle belirlenebilir.
- Robert Freitas tarafından ileri sürülen bir diğer strateji, nanobotun gerçek anlamda kan–beyin engeline çarpıp, kendine bir delik açıp geçerek, kan damarından çıkması, daha sonra da hasarı onarmasıdır. Nanobot, baklava biçimli (diamondoid) düzenlenmeyle karbon kullanılarak yapılabileceğine göre, biyolojik dokulardan çok daha güçlü olacaktır. Freitas şöyle yazmaktadır: "Hücre bakımından zengin dokuda hücreler arasından geçebilmek için, ilerleyen nanorobotun yolunun üzerinde bulunan, hücreden hücreye yapıştırıcı bağlantılardan birazını kesmesi gerekecektir. Ardından, biyolojik zorlamayı en aza indirgemek amacıyla nanorobotun, bu yapıştırıcı bağlantıları, kaba bir benzetmeyle tünel kazan bir köstebek gibi, arkasından yeniden kapatması gerekir."[46]
- Bir başka yaklaşım önerisi ise çağdaş kanser araştırmalarından gelmektedir. Kanser araştırmacıları büyük bir ilgiyle, kan–beyin engelini seçimli olarak kesip, tümörlere kanseri yok edici maddeler gönderebilmenin yöntemini araştırıyorlar. Son dönemde yapılan çalışmalar, kan–beyin engelinin çeşitli etmenlere tepki olarak açıldığını göstermektedir. Bu etmenler, yukarıda belirtildiği gibi proteinler, sınırlı yüksek tansiyon, belirli maddelerin yüksek düzeyde yoğunlaşması, mikrodalgalar ve radyasyonun diğer biçimleri, enfeksiyon ve iltihaplanmadır. Glikoz gibi gerekli maddeleri dışarı taşıyan özel süreçler de vardır. Mannitolün neden olduğu şekerin, sıkışık düzende yer alan endotelyal hücrelerde geçici küçülmeye yol açıp kan–beyin engelini geçici olarak bozduğu da anlaşılmıştır. Bu mekanizmalardan yararlanan birkaç araştırma grubu, kan–beyin engelini açan bileşikler geliştirmekteler.[47] Bu araş-

46 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 9.4.4.3, "Intercellular Passage," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 320–321, http://www.nanomedicine.com/NMI/9.4.4.3.htm#p2.

47 Keith L. Black, M.D. ve Nagendra S. Ningaraj, "Modulation of Brain Tumor Capillaries for Enhanced Drug Delivery Selectively to Brain Tumor," *Cancer*

tırmalar her ne kadar kanser sağaltımını hedeflese de, benzer yaklaşımlar beyni taramanın yanında zihinsel işleyişimizi geliştirecek nanobotlara geçit açmak için de kullanılabilir.

- Nanobotları, beynin nöron dokusuna doğrudan erişimi olan bölgelerine enjekte edersek, kan akımıyla kan–beyin engelini tamamen aşabiliriz. Aşağıda belirttiğim gibi, yeni nöronlar beyin boşluğundan beynin diğer bölgelerine geçerler. Nanobotlar da aynı geçiş yolunu kullanabilirler.
- Rob Freitas, nanobotların duyu sinyallerini izleyebilmeleri için birkaç yöntem betimlemiştir.[48] Bunlar, hem beynin girdilerine ters mühendislik işleminin uygulanmasında hem de sinir sisteminin içinden tam bir sanal gerçeklik yaratılmasında önemli olacaktır.
  - Freitas işitme sinyallerini tarayıp izleyebilmek için, "kulağın sarmal atardamarının içinden yüzüp, çatallardan geçerek salyangoz (koklea) kanalına varan, burada, sarmal sinir lifleriyle sarmal gangliyonun içindeki Korti organının [koklea ya da işitme sinirleri] epitelyumuna giren sinirlerin yakınlarında sinir monitörleri olarak konumlanan ... mobil aygıtlar" önermektedir. "Bu monitörler, insan kulağının algıladığı tüm işitme siniri trafiğini saptayabilir, kaydedebilir ya da iletişim ağındaki diğer nanoaygıtlara yayabilir."
  - Freitas zihninde, bedenin "kütleçekim, yer değiştirme ve ivme algısı" için, "... yarım daire kanallarında bulunan kıl hücrelerinden çıkarak gelen sinirlerin uçlarında konumlanan nanomonitörler" canlandırmaktadır.
  - "Kinestetik duyu yönetimi için ... motor nöronlar izlenerek, uzuv devinimleri ve konumları ya da belirli kas etkinlikleri takip edilebilir, hatta denetim altında tutulabilir."
  - "Nanoalgılayıcı araçlarla koku ve tat alma duyularının sinir trafiğine kulak kabartılabilir."
  - "Ağrı sinyalleri, aynı biçimde deride bulunan reseptörlerden gelen ... mekanik ve ateş sinirlerinin atımları kaydedilebilir ya da gerektiği şekilde düzenlenebilir."

Control 11.3 (Mayıs/Haziran 2004): 165–173, http://www.moffitt.usf.edu/pubs/ccj/v11n3/pdf/165.pdf.

48 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 4.1, "Nanosensor Technology," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 93, http://www.nanomedicine.com/ NMI/4.1.htm.

- Freitas, retinanın, "hem fotoreseptörlere (çubuk, koni, çift uçlu ve gangliyon) hem de bütünleyici ... nöronlara kolay erişim sağlayan" küçük kan damarları bakımından zengin olduğuna işaret eder. Görme sinirinden gelen sinyaller saniyede yüz milyondan fazla düzeyi göstermektedir, ama bu sinyal işleme düzeyi şu anda zaten yapılabilmektedir. MIT'den Tomaso Poggio ve diğerlerinin belirttiği gibi görme sinirinin sinyallerinin kodlanmasını henüz anlayabilmiş değiliz. Görme sinirindeki her ayrık lifin sinyalini izleyebilme yeteneğini elde ettiğimizde, bu sinyalleri yorumlama yeteneğimiz de büyük ölçüde kolaylaşacaktır. Bu, şu anda yoğun araştırmaların yürütüldüğü bir alandır.

Aşağıda irdelediğim gibi, bedenden gelen ham sinyaller, serebral korteksin derinlerinde bulunan, sağ ve sol insula adı verilen iki küçük organda yoğun bir dinamik oluşum halinda toplanmadan önce, birkaç düzeyde işlemden geçerler. Tam bir sanal gerçeklik ortamının sağlanması için, bedenden geçen işlenmemiş sinyaller yerine insuladaki yorumlanmış sinyallere bağlanmak daha etkin bir yöntem olabilir.

Beynin, çalışma ilkeleri üzerinde ters mühendislik işleminin uygulanması amacıyla taranması, ilerleyen sayfalarda irdelediğim gibi (*bkz.* s. 171'deki "İnsan Beynine Bilgi Yüklenmesi" bölümü) tarama işleminin belirli bir "kişiliği" yüklemek amacıyla yürütülmesinden daha kolaydır. Beyin üzerinde ters mühendislik uygulayabilmek için yapmamız gereken, yalnızca bir bölgesindeki bağlantıları, temel örüntüleri anlayabileceğimiz ölçüde taramaktır. Her bağlantıyı ayrı ayrı yakalamamız gerekmez.

Bir bölge içindeki sinirsel kablo örüntülerini anladığımız zaman, bu bilgiyi o bölgedeki her tip nöronun çalışmasıyla ilgili ayrıntılı bilgiyle birleştirebiliriz. Beynin belli bir bölgesindeki nöronların sayısı milyarları da bulsa, barındırdığı nöron tipi sınırlıdır. Çift fotonlu tarama gibi yöntemler kullanarak, hücreleri hem test tüplerinde hem de canlı organizmalarda inceleyip, belirli tür nöronlar ile sinaptik bağlantılardaki temel mekanizmaları anlama konusunda daha şimdiden önemli ilerlemeler kaydettik.

Yukarıdaki senaryolar, bugün en azından ilk aşamalarında bulunan olanaklara dayanmaktadır. Tarayıcının, fiziksel olarak nöron unsurlarına yakın olması gerekirse, beynin belirli bir bölgesindeki her bağlantının tam şeklini görüntüleyebilmek için gereken çok yüksek çözünürlüklü taramaları gerçekleştirebilecek teknoloji şu an elimizde var. Nanobotlarla ilgili olaraksa tanı ve sağaltım amaçlı kan hücresi büyüklüğündeki aygıtları konu alan, dört büyük konferans daha şimdiden düzenlendi.[49] İkinci bölümde irdelendiği gibi, bilgi işlemin maliyetinin üstel olarak azalacağını, boyutlarının hızla küçüleceğini ve hem elektronik hem de mekanik teknolojilerin verimliliğinin artacağını öngörebiliriz. Bu tahminlere dayanarak, bu tip senaryoları gerçekleştirebilmek için gerekli nanobot teknolojisini, tutucu bir yaklaşımla 2020'li yıllar için öngörebiliriz. Nanobot tabanlı tarama gerçek olduğunda, sonunda bugünün devre tasarımcılarının geldiği konumda olacağız: Beyinde milyonlarca hatta milyarlarca noktaya çok duyarlı ve çok yüksek çözünürlüklü (nanobot biçiminde) algılayıcılar yerleştirebilecek, bu sayede faal durumdaki beynin nefes kesen ayrıntılarına tanık olabileceğiz.

Beynin Modellerinin Oluşturulması

> Eğer bir büyüyle küçültülüp, bir insanın düşünmekte olan beynine yerleştirilebilseydik, tüm o pompaların, iteneklerin, dişlilerin ve kaldıraçların çalışıp durmasını görebilir, tam işleyişlerini mekanik terimlerle betimleyebilir, böylelikle de beynin düşünme sürecini tam olarak betimleyebilirdik. Ancak bu betimleme, hiçbir yerinde düşünceyi barındırmazdı! Betimleme pompalar, itenekler, kaldıraçlar dışında hiçbir şeyi içermezdi.
>
> —G. W. Leibniz (1646–1716)

Bilim alanları ilkelerini nasıl ifade ederler? Fizikçiler, fotonlar, elektronlar, kuarklar, kuantum dalga fonksiyonu, görelilik ve enerjinin korunumu gibi terimleri kullanırlar.

49 İleri Nano teknoloji Konferansı (http://www.foresight.org/Conferences/AdvNano2004/index.html), NanoBioTech Kongresi ve Sergisi (http://www. nanobiotec.de/), Nano teknolojide Nano İş Eğilimleri (http://www.nano event. com/) ve NSTI Nano teknoloji Konferansı ve Ticaret Sergisi (http://www.nsti. org/events.html).

Astronomlar gezegenler, yıldızlar, gökadalar, Hubble değişimi ve kara delikler gibi terimler kullanırlar. Termodinamik çalışanlar entropi, birinci yasa, ikinci yasa ve Carnot döngüsü gibi terimler kullanırlar. Biyologlar filogeni, ontogeni, DNA ve enzimler gibi terimleri kullanırlar. Bu terimlerin her biri, aslında ayrı bir öykünün başlığıdır! Bir alanın ilkeleri, gerçekte o alandaki ögelerin yapıları ve davranışlarını anlatan, iç içe geçmiş öyküler kümesidir.

—Peter J. Denning, Bilgisayar Makineleri Derneği eski başkanı, "Great Principles of Computing" ["Bilgi İşlemin Büyük İlkeleri"] içinde

Beynin modellerini doğru düzeyde oluşturmamız önemlidir. Bu tabii ki tüm bilimsel modeller için geçerlidir. Kimya kuramsal olarak fiziğe dayanıyor, tümüyle fizikten türetilebilecek de olsa, bu, uygulamada hantal ve olanaksız olurdu. Bu nedenle kimya, kendi kurallarını ve modellerini kullanır. Benzer biçimde, termodinamik yasalarına kuramsal olarak, fizikten yola çıkarak ulaşabilmeliyiz, ama bu çok dolambaçlı bir yoldur. Elimizde bir kez, bir araya toplanmış parçacıklardan çok, gaz olarak nitelendirmeye yetecek sayıda parçacık olduğunda, termodinamik yasaları son derece iyi çalışsa bile her parçacık etkileşimi için bir denklem çözmek mantıksız olur. Gazın içindeki tek bir molekülün etkileşimleri aşırı düzeyde karmaşık ve öngörülemezdir; ama trilyonlarca molekül içeren gazın kendisi birçok öngörülebilir özellik taşır.

Benzer biçimde, köklerini kimyadan alan biyoloji de kendi modellerini kullanır. Bir üst düzeye geçmeden önce alt düzeylerin iyice anlaşılması gerekir ama üst düzeydeki sonuçları ifade etmek için daha alt düzeydeki sistemlerin dinamiklerindeki karışıklıkları kullanmak çoğu kez gereksizdir. Örneğin, DNA molekülündeki atomların arasındaki etkileşimler bir yana, DNA'nın tüm biyokimyasal mekanizmalarını mutlaka anlamamıza gerek olmadan, bir hayvan fetüsünün DNA'sını yönlendirerek belli genetik özellikleri kontrol edebiliriz.

Alt düzey, çoğu zaman daha karmaşıktır. Örneğin, pankreasın islet hücresi, (çoğu tüm insan hücreleri için, bazıları da tüm biyo-

lojik hücreler için geçerli olan) tüm biyokimyasal işlevler açısından son derece karmaşıktır. Pankreasın, insülin düzeylerinin ve sindirim enzimlerinin düzenlenmesi özelinde –milyonlarca hücresiyle birlikte– yaptığı işleri modellemek kolay olmasa da, yine de tek bir islet hücresinin ayrıntılı modelini formüle etmekten çok daha kolaydır.

Aynı konu, sinaptik tepkimelerin fiziğinden bilginin nöron demetlerince dönüştürülmesine kadar, beyinde modelleme ve anlama düzeyleri için de geçerlidir. Beynin, ayrıntılı modelini geliştirmeyi başardığımız bölgelerinde, pankreas hücreleriyle ilgili olgunun benzerini görürüz. Modeller karmaşıktır; ama yine de tek bir hücrenin ya da tek bir sinapsın bile matematiksel tanımından daha basittirler. Daha önce de irdelediğimiz gibi, bölge özelindeki bu modeller, tüm sinapsların ve hücrelerin bilgi işleme kapasitesinin kuramsal olarak işaret ettiğinden hatırı sayılır ölçüde daha az bilgi işlem gerektirmektedir.

California Teknoloji Enstitüsünden Gilles Laurent'in gözlemine göre, "Çoğu durumda, bir sistemin kolektif davranışını, bileşenlerinin bilgisinden çıkarmak çok zordur. ... Sinirbilim ... birinci dereceden ve yerel açıklama şemalarının gerekli olduğu ama yeterli olmadığı bir sistemler bilimidir." Beyin üzerinde ters mühendislik işlemleri, biz her betimleme ve modelleme düzeyini düzelttikçe, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya modellerin ve simülasyonların hepsinin sürekli düzelmeleriyle ilerleyecektir.

Çok yakın zamana kadar sinirbilim, algılama ve tarama araçlarımızın ilkelliğinin sınırladığı, fazlasıyla basit modellerle çalışıyordu. Bu, birçok gözlemcide, düşünme süreçlerimizin, kendilerini anlayabilecek doğal yeteneğe sahip olup olmadığı konusunda kuşkuya yol açmıştır. Peter D. Krames, "Eğer akıl bizim anlayabileceğimiz kadar basit olsaydı, anlayabilmemiz için çok basit olurduk," diye yazar.[50] Daha önce Douglas Hofstadter'in beynimizle, insan beyninden çok da farklı olmayan ama kendi yöntemlerini anlama kapasitesi olmadığı bilinen bir zürafanın beyni arasındaki kıyaslamasından bir alıntı aktarmıştım. Ancak, son dönemlerde farklı düzeylerde –sinapslar gibi nöron bileşenlerinden beyincik gibi büyük nöron bölgelerine kadar– çok ayrıntılı modellerin ge-

50 Peter D. Kramer, *Listening to Prozac* (New York: Viking, 1993).

liştirilmesinde elde edilen başarıların gösterdiği gibi, beyinlerimizin matematiksel modellerini tam kesinlikle oluşturup bu modellerin bilgi işlem yoluyla simülasyonunu yapmak zordur, ancak bu veri kapasitesini elde ettiğimizde, bu, yapılabilir bir iştir. Sinirbilimde uzun bir geçmişe sahip olsalar da, modellerin, kendilerine dayanılarak oluşturulan simülasyonların gerçek beyinler gibi davranmalarını sağlayacak düzeyde, kapsamlı ve ayrıntılı duruma gelmeleri çok yenidir.

Nöron Altı Modelleri: Sinapslar ve Omurgalar

2002'de New York Üniversitesinden psikolog ve sinirbilimci Joseph LeDoux Amerikan Psikologlar Derneğinin yıllık toplantısında yaptığı bir konuşmada şunları söyledi:

Eğer kim olduğumuz, ne anımsadığımızla biçimleniyorsa, eğer bellek beynin bir işleviyse, o zaman sinapslar –nöronların birbirleriyle iletişim kurmak için kullandıkları bağlantılar ve anıların içinde kodlandığı fiziksel yapılar– benliğin temel birimleridir. ... Sinapslar, beynin düzenindeki totem direğinin epeyce aşağısında yer alırlar, ama kanımca oldukça önemlidirler. ... Benlik, beynin, her biri kendi "bellek" biçiminde bulunan tek tek alt sistemleri ile bu alt sistemler arasındaki karmaşık etkileşimlerin toplamıdır. Sinaptik plastisite –sinapsların bir nörondan diğerine sinyal gönderme kolaylıklarını değiştirebilme yetenekleri– olmadan, bu alt sistemlerdeki, öğrenmenin gerçekleşmesi için gerekli değişiklikler olanaksız olurdu.[51]

İlk modelleme çalışmaları nöronları bilgiyi dönüştürmenin temel birimi olarak ele almış olsa da, eğilim, artık hücre altı bileşenlerini vurgulama yönündedir. Örneğin, bilgi işlem sinirbilimci Anthony J. Bell şunları öne sürer:

---

51 LeDoux'un araştırması, tehdit edici uyartılarla ilgili beyin bölgelerini ele alır. Bu bölgelerin asal oyuncusu, beynin alt bölümünde yer alan badem biçimli bir nöron bölgesi olan amigdaladır. Amigdala, tehdit edici uyartılara ilişkin anıları saklar ve korkuyla ilişkili tepkileri denetler.
MIT'nin beyin üzerine çalışan araştırmacısı Tomaso Poggio, "sinaptik plastisitenin, öğrenmenin temel donanımları arasında yer aldığına ancak öğrenmenin bellekten daha fazlası olduğunu vurgulamanın önemli olabileceğine" işaret eder. *Bkz.* T. Poggio ve E. Bizzi, "Generalization in Vision and Motor Control," *Nature* 431 (2004): 768–774. *Ayrıca bkz.* E. Benson, "The Synaptic Self," *APA Online*, Kasım 2002, http://www.apa.org/monitor/nov02/ synaptic.html.

Moleküler ve biyofizik süreçler, nöronların, gelen iğneciklere karşı duyarlılığını (hem sinaptik verimliliğini hem de post–sinaptik duyarlılığını), nöronun iğnecikler üretebileceği biçimde uyarılabilirliğini, üretebileceği iğnecik örüntülerini ve şekillenen yeni sinapsların olabilirliklerini (dinamik yeniden kablolama) kontrol eder. Bunlar, nöron altı düzeydeki en belirgin dört müdahaledir. Ayrıca, elektrik alanları ve nitrik oksitin membranlar arası geçişmesi gibi, nöronlar arasındaki hacim etkilerinin, uyumlu biçimde tutarlı nöron ateşlemesi ve hücrelere enerji dağıtımını (kan akımı), ki bu ikincisi doğrudan sinirsel etkinlikle ilgilidir, etkiledikleri görülmüştür. Listeyi uzatmak mümkündür. Nöromodülatörleri, iyon kanallarını ya da sinaptik mekanizmaları ciddi olarak inceleyen ve açık sözlü herhangi birinin, nöron düzeyini yararlı bir betimleme düzeyi olarak görüyor olsa bile ayrı bir bilgi işlem düzeyi olarak kabul etmeyeceğine inanıyorum.[52]

Gerçekten de bir beyin sinapsı, klasik McCullough–Pitts nöron ağı modelinde betimlendiğinden çok daha karmaşıktır. Sinaptik tepki, çeşitli iyonik potansiyeller (gerilimler), farklı nöro-ileticiler ve nöromodülatörler tarafından kontrol edilen farklı kanalların eylemlerini de içeren bir dizi etmenin etkisi altındadır. Son yirmi yılda yine de, nöronların, dendritlerin, sinapsların davranışlarının temelinde yatan matematiksel formüllerin geliştirilmesinde ve iğnecik dizilerinde (etkinleştirilmiş nöronların atışları) bilginin gösterilişi konusunda hatırı sayılır ilerleme kaydedilmiştir. Yakın zamanda Peter Dayan ve Larry Abbott, binlerce araştırmanın sonucunda elde edilmiş geniş bir bilgi alanını betimleyen, mevcut doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin bir özetini yazmışlardır.[53] Nöron gövdeleri, sinapslar ile retina ve görme sinirleri yanında, farklı birçok nöron sınıfında bulunan ileri besleme ağlarındaki hareketlerin biyofiziğinin kanıtlanmış modelleri vardır.

---

52 Anthony J. Bell, "Levels and Loops: The Future of Artificial Intelligence and Neuroscience," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* B 354.1352 (29 Aralık 1999): 2013–2020, http://www.cnl.salk.edu/~tony/ptrsl.pdf.

53 Peter Dayan ve Larry Abbott, *Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 2001).

Sinapsın nasıl çalıştığına ilginin kökleri, Hebb'in öncü çalışmalarına dayanır. Hebb, "Kısa süreli ("çalışır" da denir) bellek nasıl işler?" sorusunu ele almıştır. Beynin kısa süreli bellekle ilişkili bölgesi, alın korteksidir; ancak, bugün yakından incelenen diğer nöron devrelerinin birçoğunda da bilginin farklı biçimlerde korunduğunu belirliyoruz.

Hebb'in araştırmalarının büyük bölümü, gelen sinyalleri güçlendirmek ya da engellemek için sinapsların durumunda ortaya çıkan değişikliklere ve nöronların aralıksız bir döngüyle ateşlediği, üzerinde daha çok tartışılan yansımalı devrelere odaklanmıştır.[54] Hebb'in önerdiği bir diğer kuram, nöronun durumundaki –yani, hücre somasının (gövde) bellek işlevinde– bir değişikliktir. Deneylerden elde edilen kanıtlar, bu modellerinin tümünün olasılığını desteklemektedir. Klasik Hebb'ci sinaptik bellek ve yansılamalı bellek, kaydedilen bilginin kullanımından önce bir sürenin geçmesini gerektirmektedir. Canlılar üzerinde (*in vivo*) yürütülen deneyler, beynin en azından bazı bölgelerinde, bu tür standart öğrenme yöntemlerince dikkate alınamayacak kadar hızlı seyreden sinirsel tepkiler oluştuğunu, bu nedenle bu sinirsel tepkimelerin yalnızca öğrenme sonucu somada oluşan değişimlerle gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.[55]

Doğrudan Hebb tarafından öngörülmeyen bir başka olasılık, nöron bağlantılarının kendilerinde ortaya çıkan, gerçek zamanlı değişimlerdir. Son zamanlarda yapılan taramaların sonuçları dendrit iğneciklerinde ve yeni sinapslarda hızla büyümeyi göstermiştir; yani bu, önemli bir mekanizma olarak düşünülmelidir. Deneyler ayrıca, Hebb modellerinin ötesine geçen, sinaptik düzeyde öğrenme davranışlarının zengin bir dizilimini ortaya koymuştur. Sinapslar durumlarını hızla değiştirebilir; ama o zaman, aralıksız uyarılarla ya da kiminde uyarı eksikliği veya çeşitli başka sapmalar nedeniyle, yavaş yavaş çürümeye başlarlar.[56]

---

54 D. O. Hebb, *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory* (New York: Wiley, 1949).

55 Michael Domjan ve Barbara Burkhard, *The Principles of Learning and Behavior*, 3. baskı (Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, 1993).

56 J. Quintana ve J. M. Fuster, "From Perception to Action: Temporal Integrative Functions of Prefrontal and Parietal Neurons," *Cerebral Cortex* 9.3 (Nisan–Mayıs 1999): 213–221; W. F. Asaad, G. Rainer ve E. K. Miller, "Neural Activity

Çağdaş modeller Hebb'in kurduğu basit sinaps modellerinden çok daha karmaşık olmakla birlikte, Hebb'in sezgileri büyük ölçüde doğrulanmıştır. Geçerli modeller, Hebb'in sinaptik plastisitesine ek olarak, düzenleyici işlevi sağlayan küresel süreçleri de içermektedir. Örneğin, sinaptik ölçekleme, sinaptik potansiyellerin sıfır olmasını (böylece çarpılarak çoğalma yaklaşımlarıyla artamama olasılığını) ya da fazlasıyla artıp ağa egemen olmasını engeller. Laboratuvar ortamındaki (*in vitro*) deneylerde, neokortikal, hipokampal ve omurilik nöronlarının kültürü yapılmış ağlarında sinaptik ölçekleme saptanmıştır.[57] Diğer mekanizmalar, genel iğnecik zamanlamasına ve potansiyellerin birçok sinapsa dağılımına duyarlıdır. Simülasyonlar, bu yeni bulunan mekanizmaların öğrenme ve ağ dengesini geliştirme yeteneğini ortaya koymuştur.

Sinaps bilgimizdeki en heyecan verici yeni gelişme, sinapsların topolojisinin ve oluşturdukları bağlantıların sürekli değiştiğinin anlaşılması oldu. Sinaptik bağlantılarda gerçekleşen hızlı değişimlerle ilgili ilk gözlemlerimizi, nöronlar ışınır yeşil ışık yayacak biçimde, genetiği değiştirilmiş bir hayvanın varlığını gerektiren, yenilikçi bir tarama sistemi sağladı. Canlı nöron dokusunu görüntüleyebilen bu sistem, yalnızca dendritleri (nöron bağlantıları) değil, aynı zamanda omurgaları da (dendritlerden fışkırarak potansiyel sinapsları başlatan çok küçük izdüşümler) yakalayacak yükseklikte çözünürlüğe sahiptir.

Nörobiyolog Karen Svoboda ile Long Island'da bulunan Cold Spring Harbor Laboratuvarındaki çalışma arkadaşları bu tarama sistemini fareler üzerinde kullanarak, farenin, bıyıklarından gelen bilgiyi çözümleyen nöron ağlarını incelediler. Çalışma, sinirsel öğrenme konusunda çok ilginç gözlemleri mümkün kıldı. Dendritlerde, sürekli olarak yeni omurgaların büyüdüğü gözlendi. Bunların birçoğu yalnızca bir ya da iki gün yaşadı, bazı durumlarda ise omurga değişmeden kaldı. Svoboda, "Filizlenen omurgalar uzayıp, komşu nöronlarda farklı presinaptik eşler aradıklarından,

---

in the Primate Prefrontal Cortex During Associative Learning," *Neuron* 21.6 (Aralık 1998): 1399–1407.

57 G. G. Turrigiano vd, "Activity–Dependent Scaling of Quantal Amplitude in Neocortical Neurons," *Nature* 391.6670 (26 Şubat 1998): 892–896; R. J. O'Brien vd, "Activity–Dependent Modulation of Synaptic AMPA Receptor Accumulation," *Neuron* 21.5 (Kasım 1998): 1067–1078.

gördüğümüz yüksek devretme hızının sinirsel plastisitede önemli rol oynayabileceğini düşünüyoruz," demektedir. "Eğer eldeki istenen bir bağlantıysa, yani beyin istenen türden bir kablolamayı yansıtıyorsa, sinapslar dengelenerek daha kalıcı duruma gelirler. Ancak bu sinapsların çoğunluğu doğru yönde gitmezler, bu nedenle de geri döndürülürler."[58]

Gözlemlenen bir diğer tutarlı olgu, belirli bir uyarımın yinelenmesi durumunda, sinirsel tepkilerin zaman içinde azalmasıdır. Bu uyum, yeni uyarım örüntülerine en büyük önceliği verir. New York Üniversitesi Tıp Fakültesi nörobiyoloğu Wen–Biao Gan'ın, yetişkin farelerin görme korteksindeki nöron omurgası üzerinde yaptığı benzer bir çalışma, bu omurga mekanizmasının uzun süreli hatırlayabildiğini göstermektedir: "On yaşındaki bir çocuğun bir bilgi parçasını saklamak için 1000 bağlantı kullandığını düşünelim. Bu çocuk 80 yaşına geldiğinde bağlantıların dörtte biri, değişen ne olursa olsun hâlâ orada olacaktır. Çocukluk anılarınızı hatırlayabilmenizin nedeni budur." Gan'ın kendi ifadeleriyle, "Yeni bir şey öğrendiğiniz ya da ezberlediğiniz zaman, yeni sinapslar üretip eskileri atmanıza gerek olmadığını düşünüyorduk. Kısa süreli öğrenme ve bellek için gereken, yanızca önceden var olan sinapsların gücünü düzenlemektir. Bununla birlikte, uzun süreli belleğe ulaşmak için [birkaç] sinapsın yapılıyor ya da eleniyor olması olasıdır."[59]

Bağlantıların üçte biri yok olsa bile anımsananların bozulmadan saklanabilmelerinin nedeni, kullanılan kodlama yönteminin bir hologramınkine benzer özellikler taşıması gibi görünmektedir. Bir hologramdaki bilgi, geniş bir alanda dağınık örüntüyle sak-

---

58 "A New Window to View How Experiences Rewire the Brain,"den, Howard Hughes Tıp Enstitüsü (19 Aralık 2002), http://www.hhmi.org/news/svoboda2.html. *Ayrıca bkz.* J. T. Trachtenberg vd, "Long–Term in Vivo Imaging of Experience–Dependent Synaptic Plasticity in Adult Cortex," *Nature* 420.6917 (Aralık 2002): 788–794, http://cpmcnet.columbia.edu/dept/physio/physio2/Trachtenberg_NATURE.pdf ile Karen Zita ve Karel Svoboda, "Activity–Dependent Synaptogenesis in the Adult Mammalian Cortex," *Neuron* 35.6 (Eylül 2002): 1015–1017, http://svobodalab.cshl.edu/reprints/2414zito02neur.pdf.

59 *Bkz.* http://whyfiles.org/184make_memory/4.html. Nöron omurgası ve belleği hakkında daha fazla bilgi için *bkz.* J. Grutzendler vd, "Long–Term Dendritic Spine Stability in the Adult Cortex," *Nature* 420.6917 (19–26 Aralık 2002): 812–816.

lanır. Hologramın dörtte üçünü yok ettiğinizde, imgenin tamamı, yalnızca dörtte bir çözünürlükle de olsa bozulmadan kalır. Redwood Sinirbilim Enstitüsünün sinirbilimcilerinden Pentti Kanerva'nın yaptığı araştırma, anıların bir nöron bölgesine dinamik olarak dağıldığı düşüncesini desteklemektedir. Bu da, eski anıların dayanmalarına karşın, neden "silikleştiklerini" açıklar; çünkü çözünürlükleri azalmaktadır.

Nöron Modelleri

Araştırmacılar, belli nöronların belli tanıma işlerini yürüttüğünü de keşfetmekteler. Tavuklar üzerine yapılan bir deneyde, ses iki kulağa ulaşırken ortaya çıkan belirli gecikmeleri saptayan, beyin sapı nöronları saptandı.[60] Farklı nöronlar farklı miktardaki gecikmelere tepki verir. Her ne kadar bu nöronların (ve dayandıkları ağların) çalışma biçimlerinde birçok karmaşık düzensizlik olsa da, aslında başardıkları şeyi betimlemek basittir, kopyalamak da kolay olacaktır. San Diego'daki California Üniversitesi sinirbilimcilerinden Scott Makeig'e göre, "Son dönemde elde edilen nörobiyolojik sonuçlar, tam bir kesinlikle eşzamanlı kılınan sinirsel girdilerin, öğrenme ve bellekteki önemli rolünü ortaya koymaktadır."[61]

Elektronik Nöronlar. California Üniversitesinin San Diego'da bulunan Doğrusal Olmayan Bilimler Enstitüsünde yakın dönemde yapılan bir deney, elektronik nöronların biyolojik nöronları tam doğrulukla taklit etme potansiyelinin olduğunu ortaya koymuştur. Nöronlar (biyolojik ya da başka türlü), çoğu kez kaotik bilgi işlem denilen şeyin başlıca örneğidir. Her nöron, özünde öngörülemeyen bir biçimde davranır. Tüm bir nöron ağı (dış dünyadan ya da diğer nöron ağlarından) girdi aldığında, aralarındaki sinyalleşme ilk önce şiddetli ve rastgele gibi görünür. Zaman içinde, genellikle saniyenin kesri bir sürede, nöronların kaotik etkileşimi yavaşlar ve tutarlı bir ateşleme örüntüsü ortaya çıkar. Bu örüntü, nöron ağının "kararını" gösterir.

---

60 S. R. Young ve E. W. Rubel, "Embryogenesis of Arborization Pattern and Typography of Individual Axons in N. Laminaris of the Chicken Brain Stem," *Journal of Comparative Neurology* 254.4 (22 Aralık 1986): 425–459.

61 Scott Makeig, "Swartz Center for Computational Neuroscience Vision Overview," http://www.sccn.ucsd.edu/VisionOverview.html.

Eğer nöron ağı bir örüntü tanıma işini yürütüyorsa (ki bu tür işler de insan beynindeki etkinliğin büyük bölümünü oluşturur), ortaya çıkan örüntü doğru tanımayı temsil eder.

Bu yüzden San Diego'daki araştırmacıların ele aldıkları soru, elektronik nöronların, bu kaotik dansta biyolojik nöronlarla birlikte yer alıp alamayacaklarıydı. Yapay nöronlar ile dikenli ıstakozlardan aldıkları gerçek nöronları tek bir ağda bir araya getirip birbirlerine bağladıklarında, hem biyolojik olan hem de biyolojik olmayan nöronlardan oluşan melez ağ, aynı biçimde (yani kaotik etkileşimin ardında gelen tutarlı örüntü şeklinde) ve bütünüyle biyolojik nöronlardan oluşan bir ağ ile aynı tip sonuçları vererek davrandı. Temelde, biyolojik nöronlar elektronik akranlarını kabul ettiler. Bu da bu nöronların kaotik matematiksel modelinin oldukça doğru olduğunu göstermektedir.

Beyin Plastisitesi

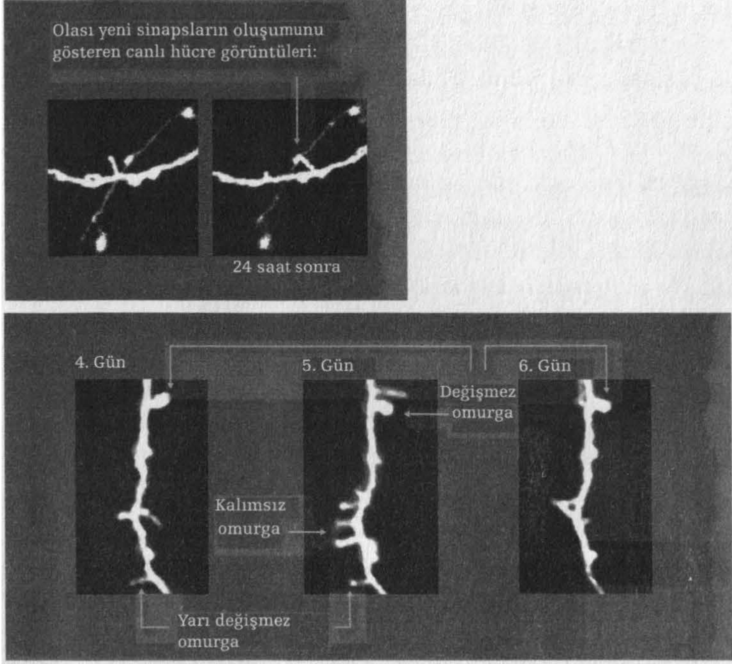
1861'de Fransız sinir cerrahı Paul Broca, beynin zarar görmüş ya da cerrahi müdahale görmüş bölgelerini, yitirilen hassas motor beceriler ya da konuşma yeteneği gibi belli becerilerle ilişkilendirdi. Yüz yıldan uzun süre bilim insanları bu bölgelerin belirli işlerle fiziksel bağlantısı olduğuna inandılar. Beynin belli bölgeleri belli tip becerilerin uygulanmasında kullanılma eğilimindeyse de, bu tür işlerin, felç gibi beyin hasarlarına tepki olarak değiştirilebildiğini bugün anlayabiliyoruz. 1965'te yaptıkları örnek bir çalışmada D. H. Hubel ile T. N. Wiesel, sinir sisteminin, felç gibi bir nedenle hasar görmesinden sonra, beynin ayrıntılı ve geniş kapsamlı bir biçimde yeniden düzenlenebileceğini gösterdiler.[62]

Ayrıca, belirli bir bölgedeki bağlantıların ve sinapsların ayrıntılı düzeni, o bölgenin hangi yoğunlukta kullanıldığının doğrudan bir sonucudur. Beyin tarama işlemleri, dendrit omurgasının gelişmesini ve yeni sinapsların oluşumunu saptayabilecek yükseklikte çözünürlüğe eriştiği için, beynimizin büyüdüğünü ve düşüncelerimizin izinden giderek kendisini uyarladığını görebiliriz. Bu, Descartes'ın "Düşünüyorum, öyleyse varım" sözüne yeni anlamlar kazandırır.

62 D. H. Hubel ve T. N. Wiesel, "Binocular Interaction in Striate Cortex of Kittens Reared with Artificial Squint," *Journal of Neurophysiology* 28.6 (Kasım 1965): 1041–1059.

Canlı Hücrelerdeki In Vivo Görüntüler

Sinir Dendritlerinin Omurga ve Sinaps Oluşumları



Michael Merzenich'in San Fransisco'da bulunan California Üniversitesindeki çalışma arkadaşlarıyla yürüttüğü bir deneyde, maymunların yiyecekleri, bu yiyecekleri alabilmek için bir parmaklarını ustalıkla kullanmalarını gerektirecek biçimde yerleştirildi. Deney öncesi ve sonrasında yapılan beyin taramaları, beyinde o parmağı kontrol eden bölgedeki nöron bağlantıları ve sinapslarda çarpıcı derecede bir büyüme olduğunu gösterdi.

Alabama Üniversitesinden Edward Traub, korteksin, parmakların dokunma algısını değerlendirmeden sorumlu bölgesini inceledi. Traub, müzisyen olmayan kişileri, yaylı çalgılarda deneyimli müzisyenlerle kıyasladığında, sağ elin parmaklarıyla ilgilenen beyin bölgelerinde herhangi bir fark bulamadı; ancak, sol elin parmaklarıyla ilgili bölgelerde büyük farklılıklar saptadı. Dokunmanın çözümlenmesini sağlayan beyin dokusu miktarına dayanarak

ellerin resmini çizecek olsak, müzisyenlerin (yayları kontrol etmek için kullandıkları) sol ellerinin parmakları çok büyük olurdu. Bir yaylı çalgıyı çocuk yaşta çalmaya başlayan müzisyenlerde bu fark çok büyük olmakla birlikte, Taub, "keman çalmaya 40 yaşında da başlasanız beyniniz yeniden düzenlenecektir," demekte.[63]

Benzer bir bulgu, Rutgers Üniversitesinden Paula Tallal ile Steve Miller'in, disleksik öğrencilere yönelik geliştirdiği, Fast ForWord adındaki bir yazılım programının değerlendirilmesinden gelmiştir. Program metinleri, disleksik öğrencilerin, hızlı söylendiklerinde "b," "p" gibi kesik söylenen sesleri algılayamadıkları gözlemine dayanarak, bu sesleri çocuklara yavaşlatarak okumaktadır. Metinlerin bu değiştirilmiş konuşma biçimiyle okunmasının, bu çocukların okumayı öğrenmesine yardımcı olduğu gösterilmiştir. Stanford Üniversitesinden John Fabrieli, fMRI tarama kullanarak, bu programı kullanan disleksik çocuklarda, dilin işlenmesiyle ilgili sol prefrontal beyin bölgesinin gerçekten de büyüdüğünü ve daha etkin olduğunu belirledi. Tallal'a göre, "Beyninizi, aldığınız girdilerle oluşturursunuz."

Beyni kendini düzenlemesi için uyarmak için, kişinin, düşüncelerini fiziksel eyleme dönüştürmesine bile gerek yoktur. Harvard Üniversitesinden Dr. Alvaro Pascual-Leone, yaptıkları basit bir piyano alıştırması öncesinde ve sonrasında gönüllü deneklerin beyinlerini taradı. Beklenildiği gibi, gönüllülerin beyin motor korteksi, yaptıkları alıştırmanın doğrudan bir sonucu olarak değişmişti. Pascual-Leone sonra ikinci bir gruptan, kaslarını çalıştırmadan, piyano alıştırmasını yalnızca zihinlerinden yapmalarını istedi. Bu da motor korteksi ağında aynı derecede belirgin değişikliklere neden oldu.[64]

---

63 Jeffrey M. Schwartz ve Sharon Begley, *The Mind and the Brain: Neuroplasticity and the Power of Mental Force* (New York: Regan Books, 2002). *Ayrıca bkz.* C. Xerri, M. Merzenich vd, "The Plasticity of Primary Somatosensory Cortex Paralleling Sensorimotor Skill Recovery from Stroke in Adult Monkeys," *The Journal of Neurophysiology* 79.4 (Nisan 1980): 2119-2148. *Ayrıca bkz.* S. Begley, "Survival of the Busiest," *Wall Street Journal*, 11 Ekim 2002, http://webreprints.djreprints.com/606120211414.html.

64 Paula Tallal vd, "Language Comprehension in Language-Learning Impaired Children Improved with Acoustically Modified Speech," *Science* 271 (5 Ocak 1996): 81-84. Paula Tallal, Rutgers Üniversitesinde Sinirbilim Yöneticiler Kurulu Profesörü ve CMBN'nin (Moleküler ve Davranışsal Sinirbilim Merkezi)

Son dönemlerde görsel–uzaysal ilişkinin öğrenilmesi üzerine yapılan fMRI araştırmaları, nöron bağlantılarının, tek bir ders süresinde hızla değişebildiğini gösterdi. Araştırmacılar, "dorsal" yol adı verilen (görsel uyartıların konum ve uzaysal özellikleri hakkında bilgi içeren) yerde, arka yan korteks hücreleri ile "ventral" yoldaki (değişik soyutlama düzeylerindeki tanınan değişmez özellikleri içeren) arka alt–şakak korteks hücreleri arasında ki bağlantılarda değişimler saptadılar.[65] Değişimin hızı, öğrenme hızıyla belirgin ölçüde doğru orantılıydı.[66]

San Diego'daki California Üniversitesi araştırmacıları kısa süreli ve uzun süreli belleklerin oluşumundaki farklılık hakkında kilit bir bilgiye ulaştılar. Araştırmacılar, yüksek çözünürlüklü bir tarama yöntemiyle, hipokampüsün, uzun süreli bellek oluşumuyla ilgili beyin bölgesindeki sinapslarında ortaya çıkan kimyasal değişiklikleri görmeyi başardılar.[67] Bir hücre ilk kez uyarıldığında, bir nörokimyasal olan aktinin, sinapsın bağlı olduğu nöronlara doğru ilerlediğini buldular. Bu devinim, komşu hücrelerdeki aktini de uyararak, etkinleştirilen hücreden uzaklaşmalarına yol açtı. Ancak, bu değişimler yalnızca birkaç dakika sürdü. Eğer uya-

---

eşbaşkanı, ayrıca SCIL'in (Bilimsel Öğrenim Şirketi) eşkurucusu ve yöneticisidir; *bkz.* http://www.cmbn.rutgers.edu/faculty/tallal.html. *Ayrıca bkz.* Paula Tallal, "Language Learning Impairment: Integrating Research and Remediation," *New Horizons for Learning* 4.4 (Ağustos–Eylül 1998), http://www.new horizons.org/neuro/tallal. htm; A. Pascual–Leone, "The Brain That Plays Music and Is Changed by It," *Annals of the New York Academy of Sciences* 930 (Haziran 2001): 315–329. *Ayrıca bkz.* yukarıdaki 63. not.

65 F. A. Wilson, S. P. Scalaidhe ve P. S. Goldman–Rakic, "Dissociation of Object and Spatial Processing Domains in Primate Prefrontal Cortex," *Science* 260.5116 (25 Haziran 1993): 1955–1958.

66 C. Buechel, J. T. Coull ve K. J. Friston, "The Predictive Value of Changes in Effective Connectivity for Human Learning," *Science* 283.5407 (5 Mart 1999): 1538–1541.

67 Çeşitli uyartılara tepki olarak geçici ve kalıcı bağlantılar oluşturan beyin hücrelerinin çarpıcı görüntüleri elde edilmiştir. Görüntüler, birçok bilim insanının uzun süredir düşündüğü, anılarımızın saklanması gibi nöronlar arasında oluşan yapısal değişiklikleri betimlemektedir. "Pictures Reveal How Nerve Cells Form Connections to Store Short– and Long–Term Memories in Brain," California Üniversitesi, San Diego, 29 Kasım 2001, http://ucsdnews.ucsd.edu/newsrel/science/mccell.htm; M. A. Colicos vd, "Remodeling of Synaptic Action Induced by Photoconductive Stimulation," *Cell* 107.5 (30 Kasım 2001): 605–616. Video bağlantısı: http://www.qflux.net/NeuroStim01.rm, Neural Silicon Interface—Quantum Flux.

rım yeterli miktarda yinelenmiş olsaydı, daha belirgin ve kalıcı bir değişim oluşabilirdi.

Michael A. Colicos, "Kısa süreli değişimler, nöronların birbirleriyle konuşma biçimlerinin yalnızca normal bir parçasıdır," demektedir.

Uzun süreli değişimler yalnızca nöronlar bir saat içinde dört kez uyarıldığı zaman ortaya çıkmaktadır. Sinapsın fiilen bölünmesiyle yeni sinapslar oluşacak, bu da büyük olasılıkla insanın yaşamının sonuna kadar sürecek kalıcı bir değişimi ortaya çıkaracaktır. Bunun insan belleğiyle benzerliği, bir şeyi bir kez gördüğünüzde ya da duyduğunuzda o şeyin birkaç dakikalığına aklınızda kalabilmesidir. Bu, önemsiz bir şeyse, uçup gider ve on dakika sonra onu anımsamazsınız. Ama aynı şeyi bir kez daha görür ya da duyarsanız ve bu izleyen bir saat içinde yinelenmeye devam ederse, o şeyi çok daha uzun süre anımsarsınız. Birçok kez yinelenen şeylerse yaşam boyunca akılda kalabilir. Bir aksonu alıp iki yeni bağlantı oluşturduğunuzda, bu bağlantılar oldukça dengelidir, yok olacaklarını düşünmek için bir neden yoktur. Bu, tüm bir yaşam boyu süreceği düşünülebilecek türden bir değişimdir.

Yazarlardan, biyoloji profesörü Yukiko Goda, "Bu bir piyano dersi gibi," demektedir. "Bir nota parçasını üst üste çalarsanız, belleğinize işlenir." Benzer biçimde, sinirbilimciler S. Lowel ile W. Singer, *Science* dergisinde yayımlanan makalelerinde, görme korteksinde yeni nöron bağlantılarının hızlı dinamik oluşumunun kanıtlarını bulduklarını, Donald Hebb'in, "Birlikte ateşleyen birbirine bağlanır," sözleriyle belirtiyorlar.[68]

Cell dergisinde yayımlanan bir araştırmada bellek oluşumu hakkında bir diğer bilgiye ulaşıldı. Araştırmacılar, CPEB proteininin aslında, anıları kaydetmek için sinapslarda biçim değiştirdiğini buldular.[69] Sürpriz olan şey ise, CPEB'nin bu bellek işlevini prion durumundayken sürdürmesiydi.

---

68 S. Lowel ve W. Singer, "Selection of Intrinsic Horizontal Connections in the Visual Cortex by Correlated Neuronal Activity," *Science* 255.5041 (10 Ocak 1992): 209–212.

69 K. Si vd, "A Neuronal Isoform of CPEB Regulates Local Protein Synthesis and Stabilizes Synapse-Specific Long-Term Facilitation in Aplysia," *Cell* 115.7 (26 Aralık 2003): 893–904; K. Si, S. Lindquist ve E. R. Kandel, "A Neuronal Isoform of the Aplysia CPEB Has Prion-Like Properties," *Cell* 115.7 (26 Aralık 2003): 879–891. Bu araştırmacılar, sinapslarda prionların deformasyonlarına

Yazarlardan Whitehead Biyomedikal Araştırma Enstitüsü Direktörü Susan Lindquist, "Bir süre belleğin çalışması hakkında epeyce bir bilgimiz vardı ama ana saklama düzeninin ne olduğu hakkında net bir şey bilmiyorduk," diyor. "Bu çalışma, saklama düzeninin ne olabileceği hakkında fikir vermektedir, ama bir prion etkinliğinin söz konusu olduğunu görmek şaşırtıcı bir işarettir. ... Bu ... prionların yalnızca doğanın eksantrik oluşumları olmayıp, temel süreçlerde yer alabildiklerini göstermektedir." Üçüncü bölümde belirttiğim gibi, insan mühendisler de prionları elektronik belleklerin kurulmasının güçlü araçları olarak görmektedirler.

Beyin tarama çalışmaları da gereksinilmeyen ve istenmeyen anıları engelleyen mekanizmaları ortaya koymaktadır.[70] (Sigmund Freud duysa sevinirdi.) Stanford Üniversitesinden bilim insanları, fMRI kullanarak, çalışmaya katılan deneklerden daha önce ezberledikleri bilgileri unutmaya çalışmalarını istediler. Bu çalışma sırasında, frontal kortekste anı bastırmayla ilişkili bölgelerin daha yüksek etkinlik düzeyi gösterdiği, normalde hatırlamayla ilgili bölge olan hipokampüsün ise görece etkisiz olduğu görüldü. Stanford'dan psikoloji profesörü John Gabrieli ve çalışma arkadaşlarına göre bu bulgular, "Etkin bir unutma sürecinin varlığını doğrulayarak, güdülenmiş unutma araştırmalarını yönlendirecek nörobiyolojik bir model oluşturmaktadır." Gabrieli'ye göre, "Önemli haber, insan beyninin istenmeyen bir anıyı nasıl bloke ettiğini,

(deli dana hastalığı ile diğer nörolojik hastalıklarda görülen protein parçaları) benzer şekilde biçim değiştirerek CPEB'nin uzun süreli belleğin oluşmasına ve korunmasına yardım edebileceğini ortaya koymuşlardır. Söz konusu araştırma, prion etkinliği gösteren bir proteinin toksik olduğunu ya da en azından düzgün çalışmadığını söyleyen yaygın inancın aksine bu proteinin prion durumunda iyi etkileri olduğunu öne sürmektedir. Columbia Üniversitesinde fizyoloji ve hücre biyofiziği, psikiyatri, biyokimya ve moleküler biyofizik profesörü ve aynı zamanda 2000 yılı Nobel Tıp Ödülü sahibi Eric R. Kandel'e göre, bu prion mekanizmasının ayrıca kanser tedavisi ve organ geliştirme gibi alanlarda da rol oynaması olasıdır. *Bkz.* Whitehead Institute basın bülteni, http://www.wi.mit.edu/nap/features/nap_feature_memory.html.

70 M. C. Anderson vd, "Neural Systems Underlying the Suppression of Unwanted Memories," *Science* 303.5655 (9 Ocak 2004): 232–235. Bulgular, insanların travmatik anılarla baş edebilmesinin yeni yollarının geliştirilmesini destekleyebilir. Keay Davidson, "Study Suggests Brain Is Built to Forget: MRIs in Stanford Experiments Indicate Active Suppression of Unneeded Memories," *San Francisco Chronicle*, 9 Ocak 2004, http://www.sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?file=/c/a/2004/01/09/FORGET.TMP&type=science.

böyle bir mekanizmanın var olduğunu, bu mekanizmanın biyolojik bir temele dayandığını gösterebilmiş olmamızdır. Bu, beyinde bir anıyı bastırabilecek hiçbir şeyin olmadığı olasılığını, bunun yanlış anlaşılan bir kurgu olduğunu ortadan kaldırmaktadır."

Beyin, nöronlar arasında yeni bir bağlantı oluşturmanın dışında, kendi havuzlarını oluşturmak için çoğalan sinirsel kök hücrelerden de yeni nöronlar üretir. Üreme sürecinde sinirsel kök hücrelerden bazıları "sinirsel öncü" hücrelere dönüşür, bu öncü hücreler de olgunlaşarak, nöronlar ile astrositler ve oligodendrositler adı verilen iki tip destek hücreleri oluştururlar. Hücreler ayrıca, belirli tip nöronlar olarak gelişirler. Ancak, sinirsel kök hücreler beyin karıncığındaki ilk kaynaklarından uzaklaşmazlarsa, bu farklılık gerçekleşemez. Anne karnında ya da ilk çocukluk dönemindeki, yeni oluşan beyinde gelişen nöronların yalnızca bir bölümünün yaşamda kalabildiği sürece benzer biçimde, nöronların yalnızca yaklaşık yarısı bu yolculuğu başarıyla tamamlayabilmektedir. Bilim insanları, doğrudan hedef bölgelere sinirsel kök hücreler enjekte ederek bu nöron göçünü aşabileceklerini ve bu nörojenez işlemi (yeni nöronlar oluşturma işlemini) geliştirecek ilaçları üreterek, yaralanma ya da hastalık sonucunda oluşan beyin hasarını onarabileceklerini umuyorlar.[71]

Genetik araştırmacıları Fred Gage, G. Kempermann ve Henriette van Praag'ın Salk Biyolojik Araştırmalar Enstitüsünde yaptıkları bir deney, nörojenezin, gerçekte deneyimimizle uyarıldığını gösterdi. Farelerin steril, ilginç olmayan bir kafesten alınıp, uyarıcı etkilerin olduğu bir kafese konmaları, bu farelerin hipokampüs bölgelerinde bölünen hücrelerin sayısını iki katına çıkarttı.[72]

Beyin Bölgelerinin Modellenmesi

Büyük olasılıkla insan beyni genelde görece küçük çok sayıda dağıtık sistemden oluşmaktadır. Bu sistemler embriyolojinin sonradan eklediği bir dizi simgesel sistem tarafından kısmen (ama yalnızca kısmen) kontrol edilen, karmaşık

71 Dieter C. Lie vd., "Neurogenesis in the Adult Brain: New Strategies for CNS Diseases," *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 44 (2004): 399-421.

72 H. van Praag, G. Kempermann ve F. H. Gage, "Running Increases Cell Proliferation and Neurogenesis in the Adult Mouse Dentate Gyrus," *Nature Neuroscience* 2.3 (Mart 1999): 266-270.

bir toplum olarak düzenlenmiştir. Ancak, geri planda, aslında işin büyük kısmını yürüten alt simgesel sistemler, karakterleri gereğince beynin tüm diğer bölümlerinin nasıl çalıştığı hakkında fazla bilgi sahibi olmalarını engellemek zorundadırlar. Bu da, kendi içinde, insanların bu kadar çok şeyi yapabilip, yine de bu işlerin gerçekte nasıl yürüdüğü hakkında tam bilgi sahibi olmamalarını açıklamamıza yardımcı olabilir.

—Marvin Minsky ve Seymour Papert[73]

Sağduyu basit bir şey değildir. Zor kazanılmış uygulamalı düşüncelerden –yaşamın içinde öğrenilen çeşitli kurallar ve kural dışılıklar, yaratılış ve eğilimler, denge ve denetimlerden– oluşan engin bir toplumdur.

—Marvin Minsky

Her beyin bölgesinin plastisite düzenlemesiyle ilgili yeni kavrayışlara ek olarak, araştırmacılar, büyük bir hızla beynin belirli bölgelerinin ayrıntılı modellerini oluşturuyorlar. Bu nöromorfik model ve simülasyonlar, temellerini oluşturan eldeki bilgilerin yalnızca çok az gerisindeler. Nöronlar üzerindeki çalışmalardan elde edilen ayrıntılı veriler ve nöron taramalarından elde edilen bağlantı verilerinin geçerli modellere ve çalışan simülasyonlara hızla dönüştürülmesinde sağlanan başarı, kendi beyinlerimizi anlama konusundaki doğal yeteneğimiz hakkında sıklıkla dile getirilen kuşkuculukla çelişmektedir.

İnsan beyninin işlevselliğini, her doğrusalsızlık ve her sinaps temelinde ayrı ayrı modellemek genellikle gereksizdir. Anı ve becerileri tek tek nöronlar ile bağlantılarında saklayan (örneğin beyincik) bölgelerin simülasyonları, ayrıntılı hücresel modelleri elbette kullanmaktadır. Ancak simülasyonlar, bu bölgeler için bile tüm nöron bileşenlerinin düşündürdüğünden çok daha az bilgi işlem gerektirmektedir. Bu, aşağıda sözü edilen beyincik simülasyonu için de geçerlidir.

Her nöronun hücre altı bölümlerindeki çok fazla ayrıntı içeren karmaşıklığa ve doğrusalsızlığa karşın, yanı sıra beyindeki trilyonlarca bağlantının altında kaotik, yarı rastlantısal kablo

73 Minsky ve Papert, *Perceptrons.*

örüntüleri bulunmasına karşın, son yirmi yılda doğrusal olmayan bu tür uyarlanabilir sistemlerin modellenmesinin matematiğinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Her dentritin tam biçimini ve her nöron bağlantısının tam "kıvrımlarını" korumak genelde gerekli değildir. Beynin yoğun bölgelerinin çalışma ilkelerini, bu bölgelerin dinamiklerini, doğru çözümleme düzeylerinde inceleyerek anlayabiliriz.

Beynin kapsamlı bölgelerinin model ve simülasyonlarının oluşturulmasında daha şimdiden epeyce başarı sağladık. Bu simülasyonlara testler uygulanıp, elde edilen verilerin gerçek insan beyni üzerinde yürütülen psikofiziksel deneylerden elde edilen verilerle kıyaslanması, etkileyici sonuçları ortaya koydu. Bugüne kadar, elimizde bulunan tarama ve algılama araçlarımızın az gelişmişliği düşünülürse, aşağıda ele aldığımız, henüz devam eden çalışmaların gösterdiği gibi, modellemede elde edilen başarı, toplanan onca veri arasından doğru bilgiyi alıp çıkarma yeteneğini ortaya koymaktadır.

Aşağıdakiler, beyin bölgelerinin başarılı modellerinden yalnızca birkaçıdır; bunların hepsi henüz devam eden çalışmalardır.

Bir Nöromorfik Model: Beyincik

The Age of Spiritual Machines'de ele aldığım bir sorun şuydu: On yaşındaki bir çocuk, kendisine doğru atılan bir beysbol topunu nasıl tutabilmektedir?[74] Çocuğun tek görebildiği, topun saha dışındaki ilk konumundan başlayarak izlediği yoldur. Topun üç boyutlu uzayda izleyeceği yolu görmek, eşzamanlı diferansiyel denklemlerin çözümünü gerektirir. Topun gelecekte izleyeceği yolu tahmin etmek için ayrıca başka denklemlerin çözülmesi, sonra bu sonuçları, oyuncunun kendi deviniminin gereklerine aktarmak için de daha başka denklemlerin çözülmesi gerekir. Beysbol oynayan çocuk, bilgisayar kullanmadan, diferansiyel denklem bilgisi olmadan bütün bunları birkaç saniye içinde nasıl hesaplayabilmektedir? Çocuk, kuşkusuz denklemleri bilinçli olarak çözmemektedir. O halde, çocuğun beyni bu problemi nasıl çözmektedir?

The Age of Spiritual Machines yayımlandığından bu yana, becerilerin temel edinim süreçlerini anlamakta hatırı sayılır ilerle-

74 Ray Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines* (New York: Viking, 1999), s. 79.

me kaydettik. Daha önce varsaydığım gibi bu problem, üç boyutlu devinimin zihinsel bir modelini kurarak çözülmez. Problemi daraltacak olan, topun izlenen deviniminin oyuncunun uygun devinimine ve kol ve bacaklarının devinimlerindeki değişimlere doğrudan aktarılmasıdır. Rochester Üniversitesinden Alexandre Pouget ile Washington Üniversitesinden Lawrence H. Snyder, görsel alanda algılanan devinimin, kasın gereken devinimlerine doğrudan dönüşümünü gösterebilen "temel matematiksel fonksiyonları" betimlediler.[75] Ayrıca, son zamanlarda geliştirilen, beyinciğin işleyiş modelleri üzerine çözümlemeler, beyinciğimizdeki nöron devrelerinin, gerçekten de öğrenme ve bu duyu–motor dönüşümleri yürütmek için gerekli temel fonksiyonları uygulama yeteneğine sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Havadaki bir topu tutmak gibi bir duyu–motor görevini gerçekleştirmek için deneme–yanılma yöntemiyle öğrenme sürecine girdiğimizde, beyincik sinapslarını, sinaptik potansiyellerine uygun temel fonksiyonları öğrenmek üzere eğitiriz. Beyincik, bu temel fonksiyonlarla iki tip dönüşümü gerçekleştirir: Arzu edilen sonuçtan eyleme doğru (ters iç modeller) ve olası bir dizi eylemden öngörülen sonuca doğru (ileri iç modeller) gider. Tomaso Pogio, temel fonksiyonlar düşüncesinin, beyinde, motor kontrolünün ötesine geçen öğrenme süreçlerini açıklayabileceğine işaret etmektedir.[76]

Beynin, beyincik adı verilen, gri ve beyaz, beysbol topu büyüklüğünde, fasulye biçimindeki bölgesi, beyin sapının üzerinde bulunur ve beynin nöronlarının yarısından fazlasını barındırır. Duyu–motor koordinasyonu, denge, devinim kontrolü ve eylemlerin (hem kendimizin hem de başka nesne ve kişilerin eylemlerinin) sonuçlarının tahmin edilmesi dahil birçok yaşamsal işlevi yürü-

---

75 Temel fonksiyonlar, herhangi bir doğrusal olmayan fonksiyonu hesaplamak için (birçok ağırlıklı–temel fonksiyonu toplayarak) doğrusal olarak birleştirilebilen doğrusal olmayan fonksiyonlardır. Pouget ve Snyder, "Computational Approaches to Sensorimotor Transformations," *Nature Neuroscience* 3.11 Ek (Kasım 2000): 1192–1198.

76 T. Poggio, "A Theory of How the Brain Might Work," *Proceedings of Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 4* içinde (Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratuvarı Yayınları, 1990), 899–910. *Ayrıca bkz.* T. Poggio ve E. Bizzi, "Generalization in Vision and Motor Control," *Nature* 431 (2004): 768–774.

tür.[77] İşlev ve görevlerinin çeşitliliğine karşın beyinciğin sinaps ve hücre düzeni son derece tutarlıdır, yalnızca birkaç tip nöronu içerir. Yürüttüğü bilgi işlem çok belirli gibi görünmektedir.[78]

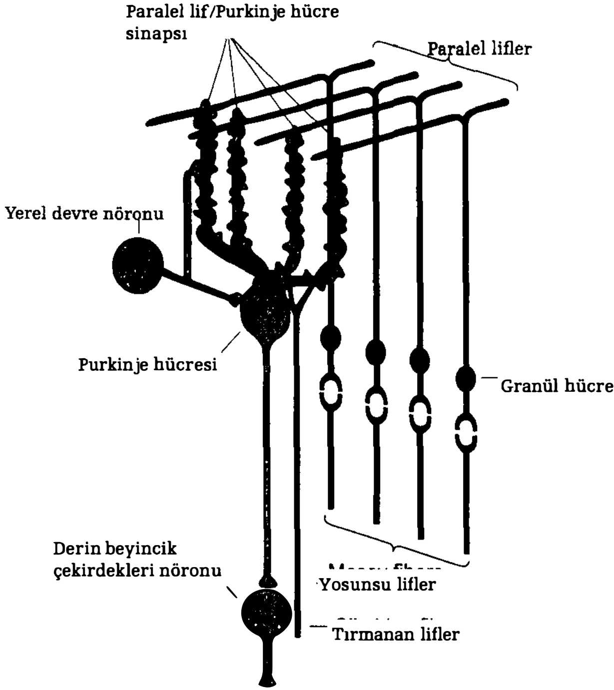
Bilgiyi tekdüze biçimde işlese de, beyinciğin yürüttüğü işlevlerin çeşitliliği beyin korteksinden (beyin sapı çekirdeklerinden, ardından da beyinciğin yosunsu lif hücreleri yoluyla) ve diğer bölgelerden (özellikle beyinciğin tırmanan lif hücreleri yoluyla beynin "inferior olive" bölgesinden) aldığı girdilerin çeşitliliğinden anlaşılabilir. Fiziksel devinimimizin denetiminden olduğu kadar, duyusal girdilerin zamanlaması ve sıralamasından da beyincik sorumludur.

Beyincik, aynı zamanda, beynin geniş kapasitesinin, yoğun genomunu nasıl aşabildiğine bir örnektir. Beyinle bağlantılı genom genel olarak, her tip nöronun (dendritleri, omurgaları ve sinapsları da dahil) ayrıntılı yapısını ve bu yapıların uyarım ve değişime nasıl yanıt verdiğini açıklar. Fiili "kablolamadan" sorumlu genom kodu görece azdır. Beyincikte, temel kablolama yöntemi milyarlarca kez yinelenmektedir. Genomun, her beyincik yapısının yinelenmesi hakkında belirli bir bilgiyi vermekten çok, bu yapının yinelenme biçimine ilişkin kısıtlamaları belirlediği açıktır (tıpkı, genomun, diğer organlardaki hücrelerin tam yerini belirlememesi gibi).

77 R. Llinas ve J. P. Welsh, "On the Cerebellum and Motor Learning," *Current Opinion in Neurobiology* 3.6 (Aralık 1993): 958–965; E. Courchesne ve G. Allen, "Prediction and Preparation, Fundamental Functions of the Cerebellum," *Learning and Memory* 4.1 (Mayıs–Haziran 1997): 1–35; J. M. Bower, "Control of Sensory Data Acquisition," *International Review of Neurobiology 41* (1997): 489–513.

78 J. Voogd ve M. Glickstein, "The Anatomy of the Cerebellum," *Trends in Neuroscience* 21.9 (Eylül 1998): 370–375; John C. Eccles, Masao Ito ve János Szentágothai, *The Cerebellum as a Neuronal Machine* (New York: Springer–Verlag, 1967); Masao Ito, *The Cerebellum and Neural Control* (New York: Raven, 1984).

Sıklıkla Yinelenen Beyincik Kablolama Örüntüsü



Beyinciğin çıktılarının bir bölümü, vücudun ortalama altı yüz kasının komut sinyallerini belirleyen, yaklaşık iki yüz bin alfa motor siniri hücresine gitmektedir. Alfa motor nörona giden girdiler bu kasların her birinin devinimini doğrudan belirlemezler; henüz çok az anlaşılmış olan çok daha yoğun bir biçimde kodlanmışlardır. Kaslara giden komut sinyalleri, sinir sisteminin alt kısımlarında, özellikle beyin sapı ile omurilikte belirlenmektedir.[79] İlginç olan, bu düzen ahtapotta uç noktaya taşınmıştır, merkezi sinir sisteminin kollarının her birine çok üst düzeyde ("nesneyi yakala ve yakınlaştır" gibi) komutlar gönderir, komutun uygulanmasını, her koldaki bağımsız periferal sinir sistemine bırakır.[80]

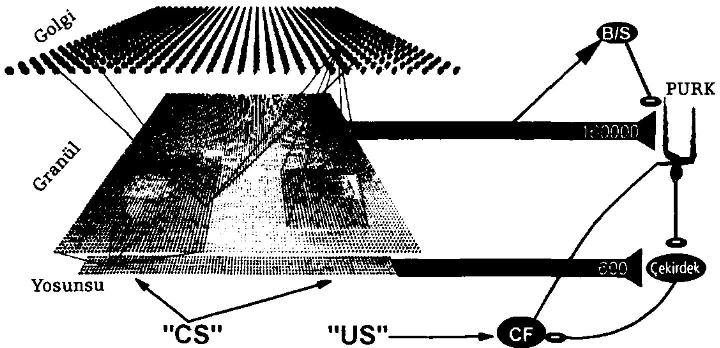
---

79 N. Bernstein, *The Coordination and Regulation of Movements* (New York: Pergamon Yayınları, 1967).

80 ABD Deniz Kuvvetleri Araştırma Birimi basın bülteni, "Boneless, Brainy, and Ancient," 26 Eylül 2001, http://www.eurekalert.org/pub_releases/2001-11/

Beyincikte bulunan üç ana sinir tipi hakkında son yıllarda epeyce bilgi edinildi. "Tırmanan lifler" adı verilen nöronlar, beyinciğin eğitilmesi için gerekli sinyalleri sağlıyor gibi görünmektedir. Beyinciğin birçok çıktısı, (1837'de hücreyi tanımlayan Johannes Purkinje'nin adı verilen) büyük Purkinje hücrelerinden gelmektedir; tipik bir nörona gelen ortalama bin girdiye karşın bu hücrelerin her birine yaklaşık iki yüz bin girdi (sinapslar) gelir. Girdiler çoğunlukla en küçük nöronlar ve milimetrekare başına yoğunlukları yaklaşık altı milyon olan granül hücrelerden gelir. Beyinciğin, çocukların el yazısı hareketlerini öğrenme sürecindeki rolü üzerine yapılan çalışmalar, Purkinje hücrelerinin, her biri belirli bir örneğe duyarlılık göstererek, hareketlerin sırasını fiilen örneklediklerini ortaya koymaktadır.[81] Beyinciğin, görme korteksinin kesintisiz algı rehberliğine gereksinimi olduğu açıktır. Araştırmacılar, el yazısının kıvrıklığı ile yazma hızı arasında ters bir ilişki olduğu gözlemini beyincik hücrelerinin yapısı arasındaki bağlantıyı kurabildiler; bu, her harf için ayrıntılı eğriler yerine düz çizgiler kullandığınızda daha hızlı yazacağınız demektir.

Teksas Üniversitesinin Beyincik Modeli ve Simülasyonu



oonr-bba112 601.php; ahtapot kolu, "pekâlâ gelecek kuşak robotların denizaltı, uzay, hatta yeryüzü uygulamaların temeli olabilir."

81 S. Grossberg ve R. W. Paine, "A Neural Model of Cortico-Cerebellar Interactions During Attentive Imitation and Predictive Learning of Sequential Handwriting Movements," *Neural Networks* 13.8–9 (Ekim–Kasım 2000): 999–1046.

Ayrıntılı hücre araştırmaları ve hayvan incelemeleri, beyincik sinapslarının fizyolojisi ve düzeni hakkında etkileyici matematik betimlemeleri,[82] ayrıca girdi ve çıktılarındaki bilgi kodlamasını ve gerçekleşen dönüşümleri ortaya koymuştur.[83] Çeşitli araştırmalardan elde edilen verileri bir araya getiren Javier F. Medina, Michael D. Mauk ile Texas Üniversitesi Tıp Fakültesindeki çalışma arkadaşları, beyinciğin ayrıntılı bir aşağıdan yukarıya simülasyonunu oluşturdular. Simülasyon, on binin üzerinde nöron ve üç bin sinapsı, yanı sıra başlıca beyincik hücre tiplerini kapsıyor.[84] Hücre ve sinaps bağlantıları bilgisayarla belirlenmekte. Bu bilgisayar, gerçek insan beyninin bağlantılarını genetik kodundan hareketle kablolamak için kullanılan stokastik (kısıtlamalara tabi rastlantısallık) yöntem gibi bir takım kısıtlama ve kurallara uyarak, beyincik bölgelerinin simülasyonunu "kablolamakta."[85] Texas Üniversitesinin beyincik simülasyonunu, daha fazla sayıda sinaps ve hücrelerle genişletmek zor olmayacaktır.

Texaslı araştırmacılar simülasyonlarında klasik bir öğrenme yöntemi uygulayarak, sonuçları gerçek insan koşullanması üzerine yapılan birçok benzer deneyin sonuçlarıyla kıyasladılar. İnsan üzerinde yapılan araştırmalarda, işitilen bir ses, göz kapağına uygulanarak deneğin gözünü kapamasına neden olan bir kısa hava akımıyla ilişkilendirildi. Eğer hava akımı ve ses bir arada yüz ile iki yüz kez arasında uygulanırsa denek bu ilişkiyi öğrenecek, bu

---

82 Voogd ve Glickstein, "Anatomy of the Cerebellum"; Eccles, Ito ve Szentágothai, *Cerebellum as a Neuronal Machine;* Ito, *Cerebellum and Neural Control;* R. Llinas, *Handbook of Physiology* içinde, cilt 2, *The Nervous System,* yay. haz. V. B. Brooks (Bethesda, Md.: American Physiological Society, 1981), s. 831–976.

83 J. L. Raymond, S. G. Lisberger ve M. D. Mauk, "The Cerebellum: A Neuronal Learning Machine?" *Science* 272.5265 (24 Mayıs 1996): 1126–1131; J. J. Kim ve R. F. Thompson, "Cerebellar Circuits and Synaptic Mechanisms Involved in Classical Eyeblink Conditioning," *Trends in Neuroscience* 20.4 (Nisan 1997): 177–181.

84 Simülasyon, 10.000 granül hücre, 900 Golgi hücresi, 500 yosunsu lif hücre, 20 Purkinje hücresi ve 6 çekirdek hücre içermektedir.

85 J. F. Medina vd, "Timing Mechanisms in the Cerebellum: Testing Predictions of a Large-Scale Computer Simulation," *Journal of Neuroscience* 20.14 (15 Temmuz 2000): 5516–5525; Dean Buonomano ve Michael Mauk, "Neural Network Model of the Cerebellum: Temporal Discrimination and the Timing of Motor Reponses," *Neural Computation* 6.1 (1994): 38–55.

sefer gözünü yalnızca, sesi duyduğunda kapayacaktır. Ses hava akımı olmadan birçok kez uygulandığında ise, denek sonuçta bu iki uyartıyı birbirinden ayırmayı (tepkiyi "söndürmeyi") öğrenir; yani öğrenme iki yönlüdür. Bu simülasyon, çeşitli değişkenlerle ilgili ince ayrıntıların düzenlenmesinin ardından, insan ve hayvanların beyincik koşullanması üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarıyla oldukça yakın eşleşmiştir. İlginç biçimde, araştırmacılar (simüle edilen beyincik ağının bazı kısımlarını çıkararak) beyincik dokusu bozukluğunu simüle ettiklerinde de, gerçek beyincik dokusu bozukluğu olan tavşanlar üzerinde yürütülen deneylerin sonuçlarına yakın sonuçlar elde ettiler.[86]

Beynin bu büyük bölgesinin tutarlı düzeni ile nöronlar arasındaki bağlantıların göreli basitliği sayesinde, girdi–çıktı dönüşümleri, beynin diğer bölgelerine kıyasla oldukça iyi anlaşılmıştır. Bununla ilgili denklemler hâlâ ince ayar gerektirse de, bu aşağıdan yukarı simülasyonun oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır.

Bir Başka Örnek: Watts'ın İşitme Bölgeleri Modeli

> Beyninkine benzer bir zekâ yaratmanın yolu, sanırım, gerçek zamanlı çalışan, yürütülen her bilgi işlemin özünü gösterecek kadar yeterince ayrıntılı bir model sistemi oluşturup, çalışmasının da gerçek sistemin ölçümleriyle kıyaslanarak doğrulanmasıdır. Model gerçek zamanlı çalışmalı, bizi, başka türlü modelin kapsamına almayı düşünmeyeceğimiz, gerçek dünyanın elverişsiz ve karmaşık girdileriyle başa çıkmaya zorlamalıdır. Her aşamada hangi bilgilerin gösterildiğini doğru anlamamız için modelin gerçek sistemle kıyaslanabilir yeterlikte çözünürlüğü olmalıdır. Mead'in[87] izinden giderek, modelin geliştirilmesi, tam olarak, gerçek sistemin iyice anlaşıldığı, sistemin sınırlarında (yani algılayıcılarda) başlar, sonra daha az anlaşılmış bölgelere doğru ilerler. ... Bu yolla model, yalnızca var olan bilgileri yansıtmak yerine sisteme ait bilgimizin gelişimine temel bir katkıda bulunabilir. Bu tür karmaşıklık söz konusu olduğunda, gerçek sistemi anlamanın belki de en pratik yolu, algılayıcılardan

86 Medina vd, "Timing Mechanisms in the Cerebellum."
87 Carver Mead, *Analog VLSI and Neural Systems* (Boston: Addison–Wesley Longman, 1989).

başlayarak içeriye doğru, aşama kaydettikçe edineceğimiz, *sistemin karmaşıklığını görselleştirme* yeteneğine dayalı çalışan bir model oluşturmaktır. Böyle bir yaklaşım, *beyin üzerinde ters mühendislik işlemi* olarak nitelenebilir. ... Burada, naif bir biçimde tüy ve balmumu kullanarak kanat yapmaya çalışan efsane kahramanı İkarus gibi, amacını anlamadığımız yapıların körü körüne kopyalanmasını savunmuyorum. Aksine, savunduğum, daha üst düzeylere çıkmadan önce, alt seviyelerde çoktan iyice anlaşılmış olan karmaşıklık ve zenginliğe saygı duyulmasıdır.

—Lloyd Watts[88]

Beynin bir bölgesinin nöromorfik modellemesinin başlıca örneklerinden biri, Lloyd Watts ile çalışma arkadaşlarının geliştirmiş oldukları, insanın işitme sisteminin önemli bir bölümünün kapsamlı kopyasıdır.[89] Bu model, belirli nöron tipleri üzerinde yapılan nörobiyolojik çalışmalarla birlikte nöronlar arasındaki bağlantılara ilişkin bilgiye dayanır. İnsanın işitmesiyle aynı olan birçok özelliği taşıyan ve seslerin yerini saptayıp belirleyebilen modelde, işitsel bilginin işlendiği beş paralel yol bulunuyor. Model sinirsel işleme sürecinin her aşamasında, bu bilginin gerçek ara gösterimini içeriyor. Watts modelini, nörobiyolojik modeller ile beyin bağlantı verilerini çalışan simülasyonlara çevirmenin, henüz süregelen bir çalışma olmakla birlikte, olabilirliğini örnekleyen, bir gerçek zamanlı bilgisayar yazılımı olarak kurdu. Yazılım, yukarıda anlatılan beyincik modelinde olduğu gibi her bir nöronun yeniden üretilmesine değil, her bölgenin gerçekleştirdiği dönüşümlere dayanıyor.

Watts'ın yazılımı, insan işitmesi ile işitsel ayrım yeteneği üzerine yapılmış ayrıntılı deneylerin ortaya koyduğu, karmaşık durumlara uyum yeteneğine sahiptir. Watts, modelini ses tanıma sistemlerinde bir ön işlemci (ön uç) olarak kullanmış, geri planda duyulan sesler arasından ("kokteyl parti etkisi") bir konuşmacının sesini seçip alma yeteneğini kanıtlamıştır. Bu, insanların göste-

88 Lloyd Watts, "Visualizing Complexity in the Brain," *Computational Intelligence: The Experts Speak* içinde, yay. haz. D. Fogel ve C. Robinson (Hoboken, NJ: IEEE Yayınları/Wiley, 2003), s. 45–56, http://www.lloydwatts.com/wcci.pdf.

89 *Age.*

rebildikleri etkileyici bir başarı olmakla birlikte, bugüne kadar otomatik konuşma tanıma sistemlerinde mümkün olmamıştı.[90]

İnsanın işitmesi gibi Watts'ın salyangoz (koklea) modeli de spektral duyarlılık (belirli frekanslarda daha iyi duyarız), zamansal tepkiler (uzaydaki konumlarının duyumunu yaratan ses zamanlamasına duyarlıyızdır), maskeleme, doğrusal olmayan frekansa bağlı genlik sıkıştırması (daha geniş dinamik aralık –hem yüksek hem de kısık sesleri duyabilme yeteneği– sağlar), kontrol yeteneği (ses hacmini yükseltme) ve diğer hassas özelliklerle donatılmıştır. Elde ettiği sonuçların sağlaması doğrudan biyolojik ve psikofizik verilerle yapılabilmektedir.

Modelin bir sonraki dilimi, Yale Üniversitesi sinirbilim ve nörobiyoloji profesörlerinden Gordon M. Shephard'ın,[91] "beynin en iyi anlaşılmış bölgelerinden biri" olarak betimlediği salyangoz çekirdeğidir.[92] Watts'ın salyangoz çekirdeği simülasyonu, E. Young'ın, "spektral enerjinin, geniş banttan geçen dalgaların saptanmasından, spektral kanallarda ince ayar yapılmasından, duyarlılığın spektral kanallardaki geçici zarflar ile spektral uçlara ve çentiklere doğru geliştirilmesinden sorumluyken, iğne nöron kodunun sınırlı dinamik aralığında optimum duyarlılığın kazanımı için düzenlenen birincil hücre tiplerini" ayrıntılı olarak betimleyen bir çalışmasına dayanır.[93]

Watts modeli, medial üst oliver hücrelerin hesapladığı kulaklar arası zaman farkı (ITD) gibi daha birçok başka ayrıntıyı yakalamıştır.[94] Model ayrıca, lateral üst oliver hücrelerin hesapladığı kulaklar arası seviye farkı (ILD) ile alt kolikulus hücrelerinin oluşturduğu normalleştirmeler ve uyarlamaları da göstermektedir.[95]

---

90 *Bkz.* http://www.lloydwatts.com/neuroscience.shtml. NanoComputer Dream Team, "The Law of Accelerating Returns, Part II," http://nanocomputer.org/index. cfm?content=90&Menu=19.

91 *Bkz.* http://info.med.yale.edu/bbs/faculty/she_go.html.

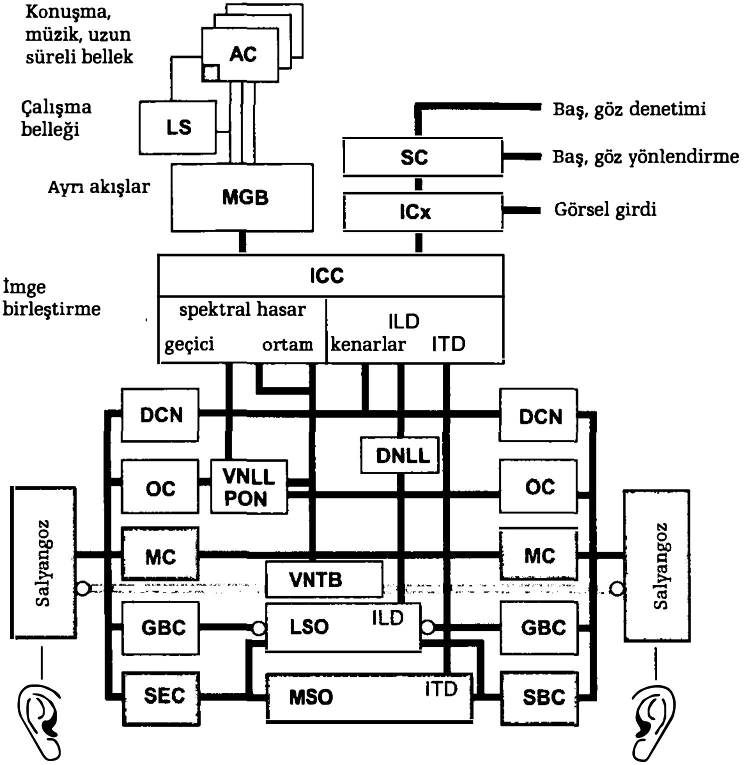
92 Gordon M. Shepherd, yay. haz., *The Synaptic Organization of the Brain*, 4. bas. (New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1998), s. vi.

93 E. Young, "Cochlear Nucleus," *a.g.e.* içinde, s. 121–158.

94 Tom Yin, "Neural Mechanisms of Encoding Binaural Localization Cues in the Auditory Brainstem," *Integrative Functions in the Mammalian Auditory Pathway* içinde, yay. haz. D. Oertel, R. Fay ve A. Popper (New York: Springer-Verlag, 2002), s. 99–159.

95 John Casseday, Thane Fremouw ve Ellen Covey, "The Inferior Colliculus: A

İnsan Beyninde Ters Mühendislik İşlemi:
Beş Paralel İşitme Yolu



İnsan beyninde ters mühendislik İşlemi: Beş paralel işitme yolu.[96]

Hub for the Central Auditory System," Oertel, Fay ve Popper, *Integrative Functions in the Mammalian Auditory Pathway* içinde, s. 238–318.

96 Lloyd Watts'ın çizdiği şema, http://www.lloydwatts.com/neuroscience.shtml; uyarlandığı yer: E. Young, "Cochlear Nucleus," *The Synaptic Organization of the Brain* içinde, yay. haz. G. Shepherd, 4. baskı (New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2003 [birinci baskı 1998]), s. 121–158; D. Oertel, *Integrative Functions in the Mammalian Auditory Pathway* içinde, yay. haz. D. Oertel, R. Fay ve A. Popper (New York: Springer–Verlag, 2002), s. 1–5; John Casseday, T. Fremouw ve E. Covey, "Inferior Colliculus," a.g.e. içinde; J. LeDoux, *The Emotional Brain* (New York: Simon & Schuster, 1997); J. Rauschecker ve B. Tian, "Mechanisms and Streams for Processing of 'What' and 'Where' in Auditory Cortex," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97.22: 11800–806.
Modellenen beyin bölgeleri:
Koklea (Salyangoz): İşitme duyu organı. Otuz bin lif, üzenginin hareketini sesin spektrotemporal gösterime dönüştürür.

Görme Sistemi

Bugün, görsel bilginin kodlanmasını, deneysel retina implantları geliştirip cerrahi işlemle hastalara takabilecek kadar anlamış bulunuyoruz.[97] Bununla birlikte görme sisteminin göreli karmaşıklığı nedeniyle, görsel bilginin işlenişi hakkındaki bilgimiz, işitme bölgeleriyle ilgili bilgilerimizin gerisindedir. Tek tek her nöron düzeyinde olmasa da (V1 ve MT adı verilen) iki görme bölgesinin yürüttüğü dönüşümlerin ilk modellerini oluşturduk. Bunlardan başka otuz altı görme bölgesi vardır; bu yoğun bölgeleri çok yüksek çözünürlükte tarayabilmek ya da işlevlerini belirleyebilmek için de bu bölgelere hassas algılayıcılar yerleştirmemiz gerekecektir.

Görsel işlemi anlamaya yönelik çalışmaların öncü isimlerden biri, Massachusetts Teknoloji Enstitüsünden, görme işleminin iki görevini tanıma ve sınıflandırma olarak belirlemiş olan Tomaso

---

MC: Çok kutuplu hücreler. Spektral enerjiyi ölçerler.
GBC: Globüler kıl hücreler. İşitme sinirinden gelen titreşimleri lateral üst oliver kompleksine (lateral üst oliver ile medial üst oliveri kapsar) iletirler. İki kulak arasında kıyaslama için sinyallerin zamanlama ve genliğinin şifrelenmesi.
SBC: Sferikal kıl hücreler. Kulaklar arası zaman farkını (sesin iki kulaktan her birine varışı arasındaki zaman farkı, sesin geldiği yeri anlamak için kullanılır) hesaplayan ön işlemci olarak varış zamanının zamansal kesinliğini sağlarlar.
OC: Ahtapot hücreler. Geçicilerin saptanması.
DCN: Dorsal koklear çekirdek. Spektral kenarların saptanması ve gürültü düzeylerinin kalibrasyonu.
VNTB: Yamuksu cismin ventral çekirdeği. Kokleadaki dış tüy hücrenin işlevini ayarlayan geribildirim sinyalleri.
VNLL, PON: Lateral lemniskusun vertral çekirdeği; perioliver çekirdekler: Ahtapot hücrelerdeki geçicilerin işlenmesi.
MSO: Medial superior olive. Kulaklar arası zaman farkının hesaplanması.
LSO: Lateral superior olive. Kulaklar arası düzey farkının hesaplanmasıyla ilişkilidir.
ICC: İnferior kollikulusun orta çekirdeği. Birçok ses temsilinin ana birleşim alanı.
ICx: İnferior kollikulusun dış çekirdeği. Gelen sesin daha ince ayarı.
SC: Superior kollikulus. İşitsel/görsel birleşmenin gerçekleştiği alan.
MGB: Medial genikulat cisim. Talamusun işitme bölümü.
LS: Limbik sistem. Duygu, bellek, alan vb ile ilişkilendirilen birçok yapıyı kapsar.
AC: İşitme korteksi.

97 M. S. Humayun vd, "Human Neural Retinal Transplantation," *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 41.10 (Eylül 2000): 3100–3106.

Poggio'dur.[98] Poggio'ya göre bunlardan birincisinin anlaşılması görece kolaydır; yüz tanımada oldukça başarılı deneysel ve ticari sistemleri tasarladık ve ürettik.[99] Bunlar, personel girişlerini denetlemek amacıyla güvenlik sistemlerinde ve banka makinelerinde kullanılıyor. Sınıflandırma ise –örneğin, bir insan ile bir araba veya bir köpek ile bir kedi arasında ayrım yapabilme yeteneği– son zamanlarda ilerleme kaydedilmiş olsa da daha karmaşık bir konu.[100]

Görme sisteminin (evrim süreci içindeki) erken katmanları, giderek daha karmaşık özelliklerin algılandığı, büyük ölçüde (geribildirimsiz) önbeslemeli bir sistemdir. Poggio ve Maximilian Riesenhuber, "makakların posterior inferotemporal korteksindeki tek bir nöronda yapılacak küçük bir ayarla ... binlerce karmaşık şekilden oluşan bir kütüphane oluşturulabilir," demektedirler. Görme yoluyla tanımanın, tanıma işlemi sırasında önbesleme sistemini kullandığının kanıtları arasında, insanın görme sisteminin, bir nesneyi 150 milisaniyede algıladığını ortaya koyan MEG incelemeleri de bulunmaktadır. Bu, inferotemporal kortekste bulunan özellik saptama hücrelerindeki gecikme süresine denk gelmekte, bu da erken dönemlerde verilen kararlarda, geribildirim sürecinin işlemesi için zaman olmadığını göstermektedir.

Son dönemlerde yürütülen deneylerde, özelliklerin saptanarak, sistemin daha sonraki katmanlarınca analiz edildiği hiyerarşik bir yöntem kullanılmıştır.[101] Makak maymunları üzerinde

98 Bilişim Bilimi ve Teknoloji Kolokyum Dizisi, 23 Mayıs 2001, http://isandtcolloq.gsfc.nasa.gov/spring2001/speakers/poggio.html.

99 Kah-Kay Sung ve Tomaso Poggio, "Example-Based Learning for View-Based Human Face Detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 20.1 (1998): 39–51, http://portal.acm.org/citation.cfm?id=275345&dl= ACM&coll=GUIDE.

100 Maximilian Riesenhuber ve Tomaso Poggio, "A Note on Object Class Representation and Categorical Perception," Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Biyoloji ve Bilgi İşlem Öğrenim Merkezi, Yapay Zekâ Bildirisi 1679 (1999), ftp://publications.ai.mit.edu/ai-publications/ pdf/AIM-1679.pdf.

101 K. Tanaka, "Inferotemporal Cortex and Object Vision," *Annual Review of Neuroscience* 19 (1996): 109–139; Anuj Mohan, "Object Detection in Images by Components," Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Biyoloji ve Bilgi İşlem Öğrenim Merkezi, Yapay Zekâ Bildirisi 1664 (1999), http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/12185/ftp:zSzzSzpublications. ai.mit. eduzSzai-publicationszSz1500-1999zSzAIM-1664.pdf/mohan99object.pdf; Anuj Mohan,

yapılan araştırmalardan, inferotemporal korteksteki nöronların, hayvanların eğitiminde kullanılan nesnelerin karmaşık özelliklerine tepki verdikleri görülmektedir. Çoğu nöron, nesnenin belirli bir görüntüsüne tepki verirken, bazı hücreler nesnenin görünümü nasıl olursa olsun tepki verebilmektedir. Makak maymunlarının görme sistemi üzerinde yürütülen başka araştırmalar, birçok belirli tip hücre, bağlantı örüntüleri ve bilgi akışını üst düzey betimleme çalışmalarını kapsamaktadır.[102]

Benim "varsayım ve sınama" olarak nitelediğim şeyin daha karmaşık örüntü tanıma görevlerinde kullanımı kapsamlı yayınlarda desteklenmektedir. Korteks, gördüğü şey üzerinde bir tahminde bulunur, ardından görüş alanında duran nesnenin özelliklerinin, yaptığı tahmine uyup uymadığını belirler.[103] Çoğu zaman gerçek sınamadansa varsayım üzerine odaklanırız. Bu da, insanların çoğu zaman, orada olup biteni değil de algılamak istediklerini görüp duymalarını açıklar. "Varsayım ve sınama" ayrıca bilgisayar tabanlı örüntü tanıma sistemlerimiz için de yararlı bir stratejidir.

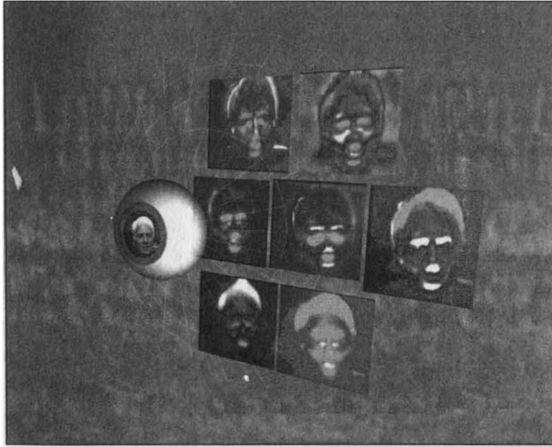
Her ne kadar gözlerimizle yüksek çözünürlüklü imgeler elde ettiğimize inansak da, görme sinirinin beyne gönderdiği, aslında yalnızca görüş alanımıza giren ilgi noktalarının ana hatları ve ipuçlarıdır. Bunun ardından temelde, paralel kanallardan gelen bir dizi çok düşük çözünürlüklü filmi yorumlayan kortikal belleğimize dayanarak, dünyayı sanrılarız. *Nature* dergisinde 2001

Constantine Papageorgiou ve Tomaso Poggio, "Example-Based Object Detection in Images by Components," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 23.4 (Nisan 2001), http://cbcl.mit.edu/projects/cbcl/publications/ps/mohan-ieee.pdf; B. Heisele, Poggio ve M. Pontil, "Face Detection in Still Gray Images," Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Yapay Zekâ Laboratuvarı Teknik Raporu Yapay Zekâ Bildirisi 1687 (2000). *Ayrıca bkz.* Bernd Heisele, Thomas Serre ve Stanley Bilesch, "Component-Based Approach to Face Detection," Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Yapay Zekâ Laboratuvarı ve Biyoloji ve Bilgi İşlem Öğrenim Merkezi, (2001), http://www.ai.mit.edu/research/abstracts/abstracts2001/ vision-applied-to-people/03heisele2.pdf.

102 D. Van Essen ve J. Gallant, "Neural Mechanisms of Form and Motion Processing in the Primate Visual System," *Neuron* 13.1 (Temmuz 1994): 1–10.

103 Shimon Ullman, *High-Level Vision: Object Recognition and Visual Cognition* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1996); D. Mumford, "On the Computational Architecture of the Neocortex II. The Role of Corticocortical Loops," *Biological Cybernetics* 66.3 (1992): 241–51; R. Rao ve Ballard, "Dynamic Model of Visual Recognition Predicts Neural Response Properties in the Visual Cortex," *Neural Computation* 9.4 (15 Mayıs 1997): 721–763.

yılında yayımlanan bir incelemede, Berkeley'deki California Üniversitesi moleküler ve hücre biyolojisi profesörlerinden Frank S. Werblin ve doktora öğrencisi Boton Roska, M.D. görme sinirinin her biri belirli bir manzaraya ait en az bilgiyi taşıyabilen on ile on iki arası çıktı kanalı barındırdığını ortaya koydular.[104] Ganglion hücreleri adı verilen hücrelerden oluşan bir grup, yalnızca kenarlara ilişkin bilgileri göndermektedir (kontrast değişiklikleri). Diğer bir grup yalnızca tek renkli geniş alanları algılarken, üçüncü bir grup yalnızca ilgili şekillerin gerisinde yer alan zemine duyarlıdır.



Gözün bir sahneden seçerek beyne gönderdiği bir düzine farklı filmden yedisi

"Dünyayı tam olarak gördüğümüzü düşünsek de, gerçekte algıladığımız, yalnızca uzay ve zamandaki ipuçları, kenarlardır," der Weblin. "Dünyada olup bitenden elde edebileceğimiz bütün bilgi bu 12 resimdir, bölük pörçük bu 12 resimden de görsel dünyanın

104 B. Roska ve F. Werblin, "Vertical Interactions Across Ten Parallel, Stacked Representations in the Mammalian Retina," Nature 410.6828 (29 Mart 2001): 583–587; California Üniversitesi, Berkeley, basın bülteni, "Eye Strips Images of All but Bare Essentials Before Sending Visual Information to Brain, UC Berkeley Research Shows," 28 Mart 2001, www.berkeley.edu/news/media/releases/2001/03/28_ wers1.html.

zenginliğini kurarız. Doğanın nasıl olup bu 12 basit filmi seçtiğini, bunların da bizim gereksindiğimiz her şeyi sağlayacak yeterliliğe sahip olabildiğini merak ediyorum." Bu türden bulgular, gözün, retinanın ve erken görme sinirinin çalışmasının yerine geçebilecek yapay sistemin geliştirilmesinde önemli bir ilerlemeyi sağlamanın sözünü vermektedir.

Üçüncü bölümde, retina ile beynin erken görsel işlem bölgelerinin yürüttüğü görüntü işleme üzerinde ters mühendislik çalışmaları yapan, robotbilimin öncüsü Hans Moravec'in çalışmasından söz etmiştim. Moravec, otuz yılı aşkın bir süredir dünyanın gösterimlerini kurabilmek amacıyla görme sistemimizin yeteneklerini taklit eden sistemler geliştiriyor. Ancak, insanınkinin düzeyinde, özellik algısını kopyalayabilecek yeterlikte işlem gücü, mikroişlemcilerin ortaya çıkmasıyla elde edilebildi. Moravec de, geliştirdiği bilgisayar simülasyonlarını, insanınkinin düzeyinde görme yeteneğiyle, plansız, karmaşık ortamlarda dolaşabilen yeni kuşak robotlar üzerinde uygulamaktadır.[105]

Carver Mead, kendi analog kiplerinde transistör kullanan özel sinirsel çiplerin kullanımına öncülük etmiştir. Bu çipler sinirsel işlemin analog doğasının taklit edilmesinde çok verimli olabiliyorlar. Mead bu yöntemi kullanarak, retinanın işlevini ve görme sinirindeki erken dönüşümleri karşılayan bir çipin çalışmasını kanıtlamıştır.[106]

Özel bir görsel tanıma türü olan devinim algılama, Almanya'nın Tübingen kentindeki Max Planck Biyoloji Enstitüsünün odaklandığı konulardan biridir. Temel araştırma modeli basittir: Bir algılayıcıdaki sinyal, yanındaki bir diğer algılayıcının zaman ayarlı sinyaliyle kıyaslanır.[107] Bu model, belli hızlarda çalışır; ancak belli bir hızın üzerinde, gözlenen bir nesnenin hızındaki artışlar bu devinim algılayıcısının tepkisini azaltan sürpriz sonuçlar

105 Hans Moravec ile Scott Friedman, Moravec'in araştırmasına dayanan, Segrid adında bir robotbilim şirketi kurdular. *Bkz.* www.Seegrid.com.

106 M. A. Mahowald ve C. Mead, "The Silicon Retina," *Scientific American* 264.5 (Mayıs 1991): 76–82.

107 Tam olarak, bir algılayıcıya (örneğin bir fotoreseptöre) alçak geçiren süzgeç uygulanır. Bu, komşu algılayıcının sinyaliyle çarpılır. Eğer bu işlem her iki yönde de uygulanır, her bir işlemin sonucu sıfırdan çıkarılırsa, devinimin yönünü yansıtan bir çıktı elde ederiz.

verir. Davranış ve nöron çıktılarının çözümlenmesine dayanarak hayvanlar, bildirilen algılara dayanarak insanlar üzerinde yürütülen deneylerin sonuçları modelle uyuşmaktadır.

Yürütülen Diğer Çalışmalar: Yapay Hipokampüs ve Yapay Olivoserebellar Bölge

Hipokampüs, yeni bilgi öğrenilmesi ve anıların uzun süreli saklanmasında yaşamsal önem taşır. Ted Berger ile Güney California Üniversitesindeki çalışma arkadaşları, hangi girdilerin, kendilerine karşılık gelen bir çıktı ürettiklerini belirlemek amacıyla, sıçanda hipokampüs dilimlerini elektrik sinyalleriyle milyonlarca kez uyararak, bu bölgenin sinyal örüntülerinin haritasını çıkardılar.[108] Ardından, hipokampüsün katmanlarının uğradığı dönüşümlerin gerçek zamanlı matematik modelini geliştirerek bu modeli çip üzerinde programladılar.[109] Planları, çipe karşılık gelen hipokampüs bölgesini etkisizleştirdikten sonra ortaya çıkan bellek yitimini kaydetmenin ardından, etkisizleştirilen bölgenin yerine hipokampüs çipinin yerleştirilmesiyle bu zihinsel işlevin eski konumuna getirilip getirilemeyeceğini belirleyerek, çipi hayvanlar üzerinde test etmektir.

Sonuç olarak bu yöntem, felç, sara ya da Alzheimer hastalarının hipokampüslerinin yerine yenisinin konması için kullanılabilir. Çip, beynin içi yerine hastanın kafatasına yerleştirilir, böylece, hasarlı hipokampüs bölümünün iki yanına yerleştirilen iki elektrot dizisi yoluyla beyinle iletişim kurabilir. Bunlardan biri beynin diğer bölgelerinden gelen elektrik etkinliği kaydederken, diğeri gerekli komutları beyne geri gönderir.

Modellemesi ve simülasyonu yapılmakta olan bir diğer beyin bölgesi, denge ve uzuvların deviniminin koordinasyonundan sorumlu olivoserebellar bölgedir. Bu çalışmayı yürüten uluslararası araştırma grubunun hedefi, yapay olivoserebellar devrelerini askeri robotlara ve engellilere yardımcı olabilecek robotlara uygu-

---

108 Berger hakkında *bkz.* http://www.usc.edu/dept/engineering/CNE/faculty/Berger.html.

109 "The World's First Brain Prosthesis," *New Scientist* 177.2386 (15 Mart 2003): 4, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99993488.

lamaktır.[110] New York Üniversitesi Tıp Fakültesi araştırmacılarından sinirbilimci Rodolfo Llinas, çalışmalarında özellikle beynin bu bölgesini seçmelerinin nedenlerinden birini, "Bütün omurgalılarda var; en basitinden en karmaşığına kadar hemen hemen her beyindeki yapısı aynı," sözleriyle açıkladı. "Çok zeki bir çözümü barındırdığı için, bölgenin [evrim sürecinde] korunduğu varsayılıyor. Sistem, motor koordinasyonla ilgili olduğu için –biz de gelişmiş motor kontrolü olan bir makine istediğimiz için– seçim [taklit edilecek devrenin seçimi] kolay oldu."

Oluşturdukları simülatörün benzeri bulunmayan yönlerinden biri analog devreler kullanmasıdır. Mead'in öncülüğünü yaptığı, beyin bölgelerinin analog taklidi çalışmalarına benzer biçimde araştırmacılar, transistörleri kendilerine özgü analog kiplerinde kullanarak çok daha az bileşenle çok daha yüksek başarı elde ettiler.

Ekipte yer alan araştırmacılardan biri olan Northwestern Üniversitesi sinirbilimcilerinden Ferdinando Mussalvaldi, engelli kişilere yönelik yapay olivoserebellar devrenin uygulamalarını şöyle değerlendiriyor: "Felçli bir hastayı düşünün. Bir bardak su getirmek, soyup giydirmek, tekerlekli sandalyeye oturtmak gibi birçok sıradan işi robot asistanların yapmasıyla hastaya daha fazla serbestlik sağlamasının düşünülmesi mümkün."

Üst Düzey İşlevlerin Anlaşılması: Taklit, Öngörü ve Duygu

> Düşünce işlemleri, savaştaki süvari hücumu gibidir; sayıları çok sınırlıdır, atları dinç olmalıdır ve ancak belirleyici anlarda öne atılırlar.
>
> —Alfred North Whitehead

> Ama insan düzeyinde zekânın büyük özelliği, çalıştığı zaman ne yaptığı değil, takıldığı zaman ne yaptığıdır.
>
> —Marvin Minsky

> Eğer yanıtı aşk ise, lütfen soruyu başka türlü sorar mısınız?
>
> —Lily Tomlin

110 Charles Choi, "Brain–Mimicking Circuits to Run Navy Robot," UPI, 7 Haziran 2004, http://www.upi.com/view.cfm?StoryID=20040606-103352-6086r.

Nöron hiyerarşinin en tepesinde oturduğundan, beynin en az anlaşılmış bölgesi beyincik korteksidir. Beyincik yarımküresinin en dış alanlarında altı ince tabakadan oluşan bu bölge milyarlarca nöronu barındırır. Salk Biyolojik Araştırmalar Enstitüsü Nörobiyoloji Bilgi İşlem Laboratuvarından Thomas M. Bartol Jr.'a göre, "Beyincik korteksinin tek bir milimetreküpü, farklı biçim ve büyüklüklerde beş milyar dolayında sinaps barındırabilir." Beyincik korteksi, algıdan, planlamadan, karar vermeden ve bilinçli olarak değerlendirdiğimiz birçok düşünceden sorumludur.

Türümüze özgü bir diğer benzersiz özellik olan dil kullanma yeteneğimizin de bu bölgede olduğu görülmektedir. Dil yetisinin kaynağı ve bu ayırt edici becerinin oluşumunu sağlayan kilit evrimsel değişimle ilgili merak uyandıran bir ipucu, insanlar ve maymunlar dahil çok az primatın, becerilerini geliştirmek için bir (gerçek) ayna kullanabildikleri gözlemidir. Kuramcılar Giacomo Rizzolatti ile Michael Arbib, dilin, (maymunların –ve insanların– yapabildikleri) el işaretlerinden doğduğu varsayımını ortaya atmışlardır. El işaretleri yapabilmek, bireyin kendi el hareketleri ile el hareketlerinden gözlemlediklerini ilişkilendirebilme yeteneğini gerektirir.[111] Rizzolatti ile Arbib'in "ayna sistemi varsayımı," dilin evriminin anahtarının "eşleşme" denen bir özellik olduğunu söyler. Bu özellik, yapılan el hareketinin (ya da çıkarılan sesin) alıcı taraf için o hareketi yapan tarafla aynı anlamı ifade ettiği anlayışıdır. Yani, sizin aynada gördüğünüz (sağ ve sol ters olsa da), sizi izleyen başka birisinin gördüğüyle aynıdır. Diğer hayvanlar bir aynadaki görüntüyü bu biçimde algılamazlar; buradan da, temel eşleşme özelliğini kullanabilme yeteneklerinin olmadığı anlaşılmaktadır.

Yakından ilişkili bir diğer kavram da dilin gelişiminde önemli rol oynayan, başkalarının hareketlerini (ya da insan yavrusu söz konusu olduğunda konuşma seslerini) taklit edebilme yeteneğidir.[112] Taklit etmek, gözlemlenen bir gösterimi, sonradan her biri

---

111 Giacomo Rizzolatti vd., "Functional Organization of Inferior Area 6 in the Macaque Monkey. II. Area F5 and the Control of Distal Movements," *Experimental Brain Research* 71.3 (1998): 491–507.

112 M. A. Arbib, "The Mirror System, Imitation, and the Evolution of Language," *Imitation in Animals and Artifacts* içinde, yay. haz. Kerstin Dautenhahn ve Chrystopher L. Nehaniv (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 2002).

üst üste yinelenen düzeltmelerle öğrenilebilecek parçalara ayırabilme yeteneğini gerektirir.

Yineleme, yeni bir dil yeterliliği kuramının belirlediği kilit yeteneklerdendir. İnsan dili üzerine ortaya koyduğu ilk kuramlarında Noam Chomsky, insanların kullandığı diller arasındaki benzerlikleri açıklayan birçok ortak özelliği saymıştır. Marc Hauser, Noam Chomsky, Tecumseh Fitch tarafından 2002'de yayımlanan bir incelemede, yazarlar tek başına "yineleme" özelliğini, insan türünün benzersiz dil yeteneğinin açıklaması olarak göstermekteler.[113] Yineleme, küçük parçalardan daha büyük bir bütün oluşturma, daha sonra da bu bütünü yine bir başka yapının parçası olarak kullanabilme, giderek bu süreci üst üste sürdürebilme yeteneğidir. Böylece, sınırlı bir sözcük kümesini kullanarak ayrıntılı tümce yapıları ve paragraflar kurabiliriz.

İnsan beyninin bir diğer kilit özelliği tahminde bulunabilmesidir; buna, kendi karar ve eylemlerinin sonuçları hakkında tahminler de dahildir. Bazı bilim insanları, tahmin edebilme yeteneğinin beyincik korteksinin başlıca işlevi olduğu görüşündeyse de, beyincik, devinimin öngörülmesinde de temel bir rol oynar.

İlginç biçimde kendi kararlarımızı tahmin edebiliyor ya da öngörebiliyoruz. Davis'teki California Üniversitesinin fizyoloji profesörlerinden Benjamin Libet'in çalışması, bir eylemi başlatan sinirsel etkinliğin, aslında beynin bu eylemi gerçekleştirme kararını vermesinden saniyenin üçte biri kadar bir süre öncesinde gerçekleştiğini göstermektedir. Libet'e göre bu, kararın gerçekte bir yanılsama olması, "bilincin halkanın bir parçası olmaması" anlamına gelmektedir. Bilişsel bilimci ve felsefeci Daniel Dennett bu olguyu şöyle açıklıyor: "Eylem aslında beynin bazı bölümlerinde hızlandırılmıştır, sinyaller kaslara uçurulurken yolda, siz bilinçli aracıya neler olup bittiğini bildirmek için duraklar (ama bütün iyi memurlar gibi siz beceriksiz başkanın, her şeyi kendinizin başlattığını düşünmenizi sağlar).[114]

113 Marc D. Hauser, Noam Chomsky ve W. Tecumseh Fitch, "The Faculty of Language: What Is It, Who Has It, and How Did It Evolve?" *Science* 298 (Kasım 2002): 1569–1579, www.wjh.harvard.edu/~mnkylab/publications/languagespeech/Hauser,Chomsky,Fitch.pdf.

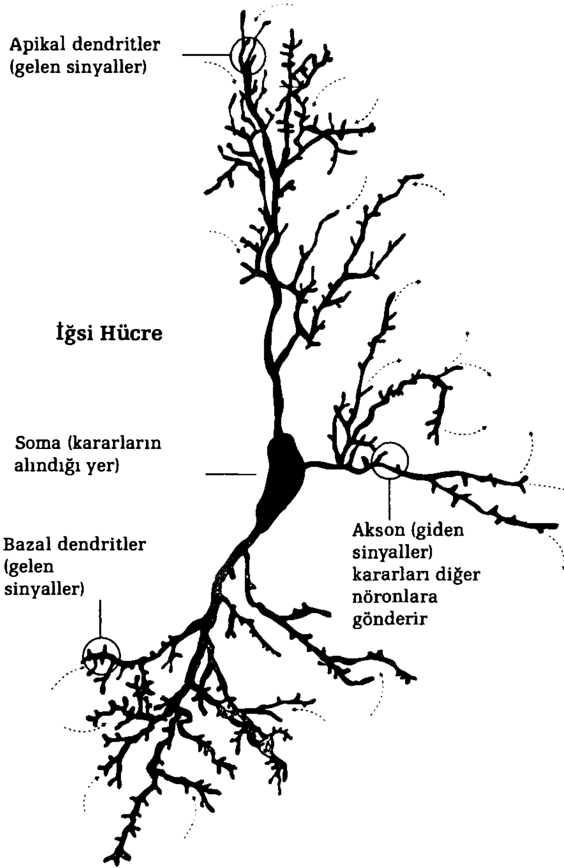
114 Daniel C. Dennett, *Freedom Evolves* (New York: Viking, 2003).

Konuyla ilgili son zamanlarda yürütülen bir deneyde nörofizyologlar, beynin bazı noktalarını elektronik olarak uyararak belirli duyarlı duygular yarattılar. Denekler hemen bu duygulara kapılmalarının mantıklı açıklamalarını yaptılar. Sağ ve sol beyinleri arasındaki bağlantı ortadan kalkan hastalarda, beynin bir tarafının (genellikle daha sözel olan sol tarafın), beynin diğer tarafının başlattığı eylemlere, sanki sol taraf sağ tarafın halkla ilişkiler temsilcisiymiş gibi, ayrıntılı açıklamalar ("öykü uydurma") getireceği yıllardır bilinmektedir.

İnsan beyninin en karmaşık –ben bunu üstünlük olarak görüyorum– yeteneği, duygusal zekâmızdır. Beynimizin karmaşık, bir bütün olarak işleyen hiyerarşisinin tepesinde, tedirgin oturmakta olan şey ise diğer üst düzey işlevlerin yanı sıra duyguları doğru biçimde algılayıp, onlara doğru biçimde tepki verme, sosyal durumlarda etkileşime girme, ahlak duygusu geliştirme, şakaları kavrama, sanata ve müziğe duygusal tepki verme yeteneğimizdir. Daha alt düzeydeki algı ve çözümleme işlevlerinin beynimizin duygusal sürecini beslediği açıktır; ama beynin bu tür konuları işleyen bölgelerini anlamaya ve belirli nöronların modellemesine henüz başlıyoruz.

Son dönemlerde elde edilen bu bilgiler, insanın beyninin diğer memelilerin beyinlerinden nasıl ayrıldığını anlama çabalarımızın sonucudur. Sorunun yanıtı, arada küçük ama belirleyici farklar olduğu, bu farkların da beynin, duygularımız ve bunlara bağlı olarak hissettiklerimizi nasıl işlediğini ayırt etmemize yaradıklarıdır. Bir fark, insan korteksinin, planlama, karar verme ve diğer analitik düşünme biçimlerindeki güçlü yeteneklerimizi yansıtan biçimde daha büyük olmasıdır. Ayırt edici bir diğer ana özellik, duygu yüklü durumların yalnızca insanlarda ve bazı büyük maymunlarda görülen, iğsi hücre adı verilen özel hücreler tarafından yönetilmesidir. Bu nöronlar büyüktür; apikal dendritler adı verilen, birçok beyin bölgesinden gelen ayrıntılı sinyalleri bağlayan uzun sinir iplikçikleri vardır. Belli nöronların birçok bölge arasında boydan boya sağladığı bu tip "derin" bağlantılar, evrim merdiveninde yukarılara çıkıldıkça giderek artan bir özelliktir. Duygusal tepkilerimizin karmaşıklığı düşünüldüğünde, iğsi hücrelerin duyguyu ve ahlak yargılarını ele alış biçimleriyle bu türden derin bağlantılar taşıması şaşırtıcı değildir.

Bununla birlikte, şaşırtıcı olan, bu küçücük bölgede ne kadar az iğsi hücre bulunduğudur: İnsan beyninde yalnızca yaklaşık 80.000 adet (yaklaşık 45.000'i sağ yarısında, 35.000'i sol yarısında) bulunur. Aradaki orantısızlık çok fazla olmasa da bu fark, duygusal zekânın sağ beynin yetki alanına girdiği düşüncesini açıklar. Bu hücrelerden gorillerde yaklaşık 16.000 adet, bonobo şempanzelerinde 2100, şempanzelerde ise yaklaşık 1800 adet bulunur. Diğer memelilerde yoktur.



Phoenix'teki Barrow Nöroloji Enstitüsünden Dr. Arthur Craig, kısa süre önce iğsi hücrelerin mimarisinin bir tanımını yaptı.[115] Deri, kaslar, iç organlar ve diğer bölgelerden gelen sinirler dahil, bedenden gelen girdiler (saniyede yüzlerce megabit olduğu tahmin ediliyor), üst omuriliğe girer. Bunlar, dokunma, ısı, asit düzeyleri (örneğin, kaslardaki laktik asit), sindirim sistemi bölgelerinden geçen besinlerin devinimi ve diğer türden birçok bilgi iletilerini taşırlar. Bu veriler, beyin sapı ve orta beyinden geçerek işlenir. Lamina 1 adı verilen ana nöronlar, uçakları izleyen uçuş kontrolörlerinin kullandıkları göstergelerden çok da farklı olmayan biçimde, bedenin mevcut durumunu gösteren haritasını çıkarırlar.

Sonra bilgi, posterior ventromedial çekirdek (VMpo) adı verilen ve "bunun tadı çok kötü," "çok pis kokuyor" ya da "bu minicik ayrıntı heyecan katmış" gibi, bedensel durumlara verilen karmaşık tepkileri işlediği anlaşılan, fındık büyüklüğünde bir bölgenin içinden geçer. Giderek karmaşıklaşan bilgi, korteksin insula denen iki bölgesine ulaşır. Serçe parmağı büyüklüğündeki bu yapılar korteksin sağ ve sol tarafında yer alır. Craig, VMpo ve iki insula bölgesini "bana malzemeyi sunan sistem" diye tanımlamaktadır.

Mekanizmaları henüz anlaşılmamış da olsa, bu bölgeler kendini bilme ve karmaşık duygular için belirleyici önem taşır. Bu bölgeler de diğer hayvanlarda çok daha küçüktür. Örneğin, makak maymunlarında VMpo bir kum tanesi kadardır, daha az gelişmiş hayvanlarda daha da küçüktür. Bu bulgular, giderek güçlenen bir düşünce birliğiyle, Iowa Üniversitesinden Dr. Antonio Damasio'nun öne sürdüğü, duygularımızın bedenin haritasını barındıran beyin bölgeleriyle yakından ilintili olduğu görüşüyle tutarlı bulunmaktadır.[116] Bulgular, düşüncemizin büyük bölümünün bedenimize, bedenimizin korunması ve geliştirilmesi kadar, sayısız gereksinim ve arzusunun da karşılanmasına yöneldiği görüşüyle de tutarlıdır.

---

115 *Bkz.* Sandra Blakeslee, "Humanity? Maybe It's All in the Wiring," *New York Times*, 11 Aralık 2003, http://www.nytimes.com/2003/12/09/science/09BRAI.html?ex=1386306000&en=294f5e91dd262a1a&ei=5007&partner=USERLAND.

116 Antonio R. Damasio, *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain* (New York: Putnam, 1994).

Çok kısa süre önce, bedenden duyusal bilgi olarak gönderilen şeyin bir başka işlenme düzeyi keşfedilmiştir. İki insula bölgesinden çıkan veriler, sağ insulanın önünde bulunan ön insular korteks adı verilen çok küçük bir bölgeye giderler. Burası, iğsi hücrelerin bulunduğu bölgedir; fMRI taramaları da insanın aşk, öfke, üzüntü, cinsel arzu gibi yoğun duygular içinde olduğu zamanlarda bu bölgenin özellikle etkin olduğunu göstermiştir. İğsi hücreler üzerinde güçlü bir etki yaparak onları etkinleştiren durumlar arasında, bir kadının sevdiği insana baktığı ya da çocuğunun ağladığını duyduğu anlar gibi durumlar vardır.

Antropologlar, iğsi hücrelerin ilk olarak bundan on, on beş milyon yıl önce, maymunlar ile ilk hominoitlerin (insan ailesi) henüz keşfedilmemiş olan ortak atasında ortaya çıkıp, bundan yaklaşık yüz bin yıl önce sayıca artmış olduğunu düşünmektedirler. İlginç olan, iğsi hücreler insan yenidoğanında bulunmaması, yaklaşık dört aylıkken ortaya çıkıp bir ile üç yaş arasında önemli miktarda artmasıdır. Çocukların ahlak konularını ele alma yetenekleri ve aşk gibi yüksek duyguları algılama yetenekleri de aynı dönemde gelişmektedir.

İğsi hücreler güçlerini, uzun apikal dendritlerin beynin diğer bölgeleriyle kurduğu derin bağlantılardan alırlar. İğsi hücrelerin işlediği üst düzey duygular da bu nedenle tüm algı ve anlama bölgelerimizden etkilenir. Dolayısıyla, bağlantılı oldukları çeşitli bölgelerin daha iyi modellerini elde edinceye kadar iğsi hücrelerin gerçek yöntemleri üzerinde ters mühendislik işlemi uygulamak zor olacaktır. Bununla birlikte, yalnızca bu duygularla ilgili olan nöronların sayısının azlığı kayda değerdir. Beyincikte beceri oluşumuyla ilgili elli milyar nöron, kortekste algı ve akılcı planlama işlemlerini yürüten milyarlarcası bulunurken, yüksek duygularla ilgili iğsi hücrelerin sayısı yalnızca seksen bindir. İğsi hücrelerin akılcı sorun çözümüyle uğraşmadıklarına işaret etmemiz önemlidir; bu da, müzik dinleme ya da âşık olma durumlarında tepkilerimizi akılcı biçimde kontrol edememememizin nedenidir. Ancak, beynin geri kalan kısmı, o gizemli yüksek duygularımızı anlamlandırmaya çalışır.

Beyin ile Makineler Arasında Arabirim Oluşturmak

Hayatımla bir şey yapmak istiyorum; siborg olmak istiyorum.

—Kevin Warwick

İnsan beyninin yöntemlerini anlamamız, biyolojiden esinlenen benzer makineleri tasarlayabilmemize yardımcı olacaktır. Diğer bir önemli uygulamanınsa beyinlerimizle bilgisayar arasında etkin arabirim bağlantısı kurmamız olacağına, bunun da önümüzdeki birkaç on yılda giderek daha derinleşen bir birleşme olacağına inanıyorum.

Şu anda ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı beyin ile bilgisayar arasında doğrudan arabirimlerin araştırılmasına 24 milyon dolar harcamakta. Yukarıda belirtildiği gibi (*bkz.* s. 159'teki "Görme Sistemi"), Massachusetts Teknoloji Enstitüsüden Tomaso Poggio ve James DiCarlo, California Teknoloji Enstitüsünden (Caltech) Christof Koch ile birlikte görsel nesnelerin tanınması ve bu bilginin nasıl kodlandığının modellerini geliştirme çalışmaları yürütmekteler. Bu modeller, sonuçta, imgelerin doğrudan beynimize iletilmesi için kullanılabilir.

Miguel Nicolelis ile Duke Üniversitesindeki çalışma arkadaşları, maymunların beyinlerine algılayıcılar yerleştirip, hayvanların, yalnızca düşünceyle bir robotu denetleyebilmelerini sağladılar. Deneyin ilk adımı maymunlara bir denetim kolunu kullanarak ekrandaki imleci denetlemelerinin öğretilmesiydi. Araştırmacılar, EEG'lerle (beyin algılayıcıları) sinyal örüntüsü toplayarak, sonuçta imlecin denetim çubuğunun fiziksel devinimi yerine doğru örüntülere tepki vermesini sağladılar. Maymunlar kısa zamanda denetim çubuğunun artık işe yaramadığını, imleci yalnızca düşünerek denetleyebildiklerini öğrendiler. Sonra bu "düşünce algılama" sistemi bir robotla birleştirildi; maymunlar da robotun hareketlerini yalnızca düşünceleriyle denetleyebilmeyi öğrendiler. Robotun performansı hakkında aldıkları görsel geribildirim sayesinde maymunlar, robot üzerindeki düşünce denetimlerini mükemmelleştirdiler. Bu araştırmayla felçli insanların uzuvlarını, çevrelerini denetlemelerini sağlayacak benzer bir sistemin hazırlanması amaçlanıyor.

Nöron implantlarının biyolojik nöronlara bağlanmasındaki ki-

lit zorluklardan biri, nöronların, beyni koruma amacıyla "yabancı" nesnelerin çevresini kaplayan gliyal hücreler üretmesidir. Ted Berger ve arkadaşları, biyolojik görüntü vererek, yakındaki nöronları itmek yerine çekecek olan özel bir kaplama geliştiriyorlar.

Münih'teki Max Planck Beşeri Kognitif ve Beyin Bilimleri Enstitüsünde üzerinde çalışılan bir diğer yöntem, sinirler ile elektronik aygıtların doğrudan birbirine bağlanmalarıdır. Infineon şirketi tarafından yapılan bir çip, nöronların sinirler ile elektronik algılayıcılar ve uyarıcılar arasında doğrudan bağlantı sağlayan özel bir alt katmanda gelişmelerini sağlamaktadır. Caltech'de "nöroçip" üzerinde yapılan benzer bir çalışma da nöronlar ile elektronik aygıtlar arasında iki yönlü, noninvaziv iletişimi sağlamıştır.[117]

Cerrahi işlemle yerleştirilmiş nöron implantlarının nasıl bağlanacağını çoktan öğrendik. Kulak salyangozu (iç kulak) implantları uygulandığında, implanttan gelen çok kanallı sinyali doğru yorumlayabilmek için işitme sinirinin kendini yeniden düzenlediği görüldü. Benzer bir süreç, Parkinson hastalarında kullanılan, derin beyin uyarıcı implantlarda da gerçekleşiyor gibi görünmektedir. Amerikan Gıda ve İlaç Kurumundan onaylı bu beyin implantının yakın çevresindeki biyolojik nöronlar, elektronik aygıttan gelen sinyalleri alıp, tıpkı bir zamanlar görevlerini yapabilen biyolojik nöronlardan aldıkları sinyalleri verdikleri gibi tepki vermektedir. Parkinson hastalığında kullanılan implantların son sürümleri, yükseltilmiş yazılımların hastaya dışarıdan, doğrudan implanta yükleme yeteneğini sağlamaktadır.

Beyinde Ters Mühendislik İşleminin İvmelenen Hızı

> Tam özgür ilk tür olan homosapiens, doğal seçilimi, yani bizi ortaya çıkaran gücü devreden çıkarmak üzeredir. ... Kısa süre içinde kendi içimize bakıp, ne olmak istediğimize karar vereceğiz.
>
> —E. O. Wilson, *Consilience: The Unity of Knowledge* [*Bilginin Bütünlüğü*], 1998

117 M. P. Maher vd, "Microstructures for Studies of Cultured Neural Networks," *Medical and Biological Engineering and Computing* 37.1 (Ocak 1999): 110–118; John Wright vd, "Towards a Functional MEMS Neurowell by Physiological Experimentation," *Technical Digest*, ASME, 1996 Uluslararası Makine Mühendisleri Kongresi ve Fuarı, Atlanta, Kasım 1996, DSC (Dinamik Sistemler ve Kontrol Bölümü), cilt 59, s. 333–338.

> Ne olduğumuzu biliyoruz ama ne olabileceğimizi bilmiyoruz.
>
> —William Shakespeare

> En önemli şey, olabileceğimiz şey uğruna, o anda olduğumuz şeyden bir anda vazgeçebilmektir.
>
> —Charles Dubois

Bazı gözlemciler, daha gelişmiş modeller, simülasyonlar üretip, insan beyni üzerinde daha ileri gittikçe, neyle uğraştığımızı ve uğraştığımız şeydeki hassas dengeleri gerçekten anlayabilmeyi riske attığımız kaygılarını belirtmekteler. Yazar W. French Anderson şöyle yazar:

> Belki de elindekini parçalara ayırmayı seven küçük bir oğlan çocuğu gibiyiz. Bir saati söküp, sonra da parçalarını bir saat gibi çalışacak biçimde yeniden bir araya getirebilecek kadar akıllı olabilir. Ama ya saati "geliştirmeğe" kalkışırsa? ... Bu çocuk, gördüğü şeyi anlayabilir ama tek tek her yay parçasının ne kadar güçlü olması gerektiğini belirleyen hesaplamaların kurgusunu tam olarak anlayamaz. ... Çocuğun daha iyi bir saat yapma girişimi yalnızca saate zarar verecektir. ... Korkarım ... biz de bizim düzeltmeye çalıştığımızın [yaşamların] işleyişini sağlayan şeyin ne olduğunu tam olarak anlamış değiliz.[118]

Ancak, Anderson'un kaygısı, on binlerce beyin uzmanı ve bilgisayar uzmanının, bir üst adıma geçmeden önce yaptıkları modeller ile simülasyonların sınırlarını, yeteneklerini düzenli olarak sınamak için giriştikleri geniş ve özenli çabaların kapsamını yansıtmamaktadır. Her aşamada ayrıntılı çözümleme yürütmeden, beynin trilyonlarca parçasını birbirinden ayırıp yeniden kurmaya çalışmıyoruz. Beynin çalışmasının ilkelerini anlama süreci, giderek daha kesin ve yüksek çözünürlüklü veriden elde edilen, giderek daha gelişmiş bir dizi modelin kullanımıyla ilerleme kaydetmektedir.

---

118 W. French Anderson, "Genetics and Human Malleability," *Hastings Center Report* 23.20 (Ocak/Şubat 1990): 1.

İnsan beynini taklit edebilecek bilgi işlem gücüne yaklaştıkça –süper bilgisayarlarla da buna neredeyse ulaşmış gibiyiz– insan beyninin taranması, algılanmasıyla beynin işleyen model ve simülasyonlarının yapılma hızları da ivme kazanmaktadır. Bu kitapta aktarılan her öngörü gibi, bu alanda da ilerlemenin üstel doğasının anlaşılması büyük önem taşıyor. Beynimizin kullandığı yöntemleri ayrıntılarıyla anlamamız için yüz yıl, belki de daha uzun süre gerektiğini söyleyen meslektaşlarımla çok sık karşılaşıyorum. Çoğu uzun dönemli bilimsel tahmin gibi bu da geleceğe doğrusal bakan bir bakışa dayanmakta, ilerlemenin doğasında bulunan ivmeyi olduğu kadar kullanılan teknolojilerin her birinin üstel büyümesini de göz ardı etmektedir. Fazlasıyla tutucu olan bu tür bakışlar, çoğunlukla, çağdaş başarıların boyutlarının alanın uzmanlarınca bile azımsandığı bir değerlendirmeye dayanmaktadır.

Tarama ve algılama araçlarının genel uzaysal ve zamansal çözünürlükleri her yıl ikiye katlanmaktadır. Tarama bant genişliği, fiyat performansı ve görüntü oluşturma süreleri de aynı oranda üstel olarak ilerlemektedir. Bu eğilimler tüm tarama biçimleri için geçerlidir: Tam noninvaziv tarama, açık kafatasıyla laboratuvar ortamında tarama ve yıkıcı tarama. Beyin tarama ve model oluşturma hakkındaki bilgilerden oluşan veri tabanı hacimleri de yılda bir kez ikiye katlanmaktadır.

Gerekli araç ve verilerin sağlanmasının hemen ardından, hücre altı bölümlerin, nöronlar ve geniş nöron bölgelerinin ayrıntılı modellerini, çalışan simülasyonlarını oluşturabilme yeteneğimizi kanıtladık. Nöronlar ile nöronların hücre altı bölümlerinin performansları çoğu zaman, büyük oranda karmaşıklık ve birçok doğrusalsızlıklar gerektirmekle birlikte, nöron kümelerinin ve nöron bölgelerinin performansları genelde bileşenlerinden daha basittir. Kullanılmakta olan bilgisayar yazılımlarında, bu tip karmaşık hiyerarşi gösteren, uyarlanabilen, kendiliğinden düzenlenen, büyük ölçüde doğrusalsızlık içeren sistemleri kesin doğrulukla modelleyebilen, giderek daha güçlü matematiksel araçlar uygulanmaktadır. Beynin önemli birkaç bölgesinin etkili biçimde modellenmesinde bugüne kadar elde ettiğimiz başarı, bu yaklaşımın geçerliliğini göstermektedir.

Şu anda üretimde olan yeni tarama araçları bize ilk kez, dendrit, omurga ve sinapsların gerçek zamanlı performanslarını gözlemleme yeteneği olan uzaysal ve zamansal çözünürlüğü sağlayacaktır. Bu araçlar, daha yüksek çözünürlükteki yeni kuşak model ve simülasyonların yolunu hızla hazırlayacaktır.

2020'li yıllarda nanobot çağı başladığında nöronların performansla ilgili tüm özelliklerini doğrudan beynin içinde, çok yüksek çözünürlükle gözlemleyebileceğiz. Kılcal damarlardan içeri milyarlarca nanobot gönderebilmek, bizim çalışan bir beynin bütününü gerçek zamanlı olarak, noninvaziv yöntemle tarayabilmemizi sağlayacaktır. Günümüzün görece gelişmemiş araçlarıyla (henüz tamamlanmamış olsa da) beynin ayrıntılı bölgelerinin etkili modellerini daha şimdiden oluşturduk. Yirmi yıl içinde en az milyon kat daha yüksek bilgi işlem gücüne ve çok daha gelişmiş tarama çözünürlüğü ve bant genişliğine ulaşacağız. Yani, gereksindiğimiz veri toplama ve bilgi işleme araçlarına 2020'li yıllara kadar sahip olacağımızdan ve beynin tamamının modelini ve simülasyonunu yapabileceğimizden emin olabiliriz; bu da insan zekâsının çalışma ilkelerinin, diğer yapay zekâ araştırmalarından elde ettiğimiz zeki bilgi işleme biçimleriyle birleştirilebilmesini mümkün kılacaktır. Ayrıca, makinelerin saklama, erişim ve çok sayıda bilginin kolayca paylaşılması işlemlerinde doğal olarak taşıdıkları güçten yararlanabileceğiz. Sonra, bu güçlü melez sistemleri insan beyninin görece sabit mimarisinin yeteneklerinin büyük çapta ilerisine geçen bilgi işlem platformlarında uygulayabilecek durumda olacağız.

İnsan Zekâsının Ölçeklenirliği. Hofstadter'in, insan zekâsının "kendini anlamak" için gereken eşiğin hemen üzerinde mi yoksa altında mı olduğuyla ilgili kuşkularına karşın, beyinde ters mühendislik işlemi, ivmelenerek kazandığı hızla, bizim kendimizi –ya da herhangi bir şeyi– anlamamızın herhangi bir sınırının olmadığını açıkça göstermektedir. İnsan beyninin ölçeklenebilmesinin anahtarı, bizim aklımızda gerçekliğin modellerini kurabilme yeteneğimizdir. Bu modeller yinelenen nitelikte olabilir, yani bir model başka modelleri içerebilir, içerdiği modeller de herhangi bir sınır olmadan yine daha ayrıntılı modelleri içerebilir. Örne-

ğin, bir biyolojik hücre modeli, çekirdek modeli, ribozomların ve diğer hücre sistemlerinin modellerini barındırabilir. Devamında, ribozom modeli de molekül altı bileşenlerinin modellerini içerebilir, böylece atomlara, atom altı parçacıklara ve onları oluşturan güçlere kadar uzanabilir.

Karmaşık sistemleri anlama yeteneğimiz mutlaka hiyerarşik değildir. Bir hücre ya da insan beyni gibi karmaşık sistemler yalnızca sistemi oluşturan alt sistemlere ve bileşenlerine ayrılarak anlaşılamaz. Elimizde, düzeni ve kaosu bir arada barındıran sistemleri –bir hücrede ve beyinde her ikisinden de epeyce bulunur– anlayıp, mantıksal çözümlemeye karşı koyan karmaşık etkileşimleri kavramamamıza yarayan giderek daha gelişmiş matematik araçlar bulunmaktadır.

Kendileri de ivme kazanan bilgisayarlarımız, yalnızca beyinlerimizle tasarımlayamayacağımız biçimde, giderek karmaşıklaşan modelleri ele almamızı sağlayan önemli bir araç olmuştur. Teknolojinin desteği olmadan, yalnızca aklımızda tutmamız gereken modellerle sınırlı olsaydık, Hofstadter'in kaygısı kuşkusuz doğru olabilirdi. Zekâmızın kendini anlaması için gerekli eşiğin hemen üzerinde olması, bizim, doğamızdan gelen, kendi gözlemlerimize dayanan soyut –giderek de derinleşen incelikleri barındıran– modelleri tasarımlama, daha işlenmiş duruma getirme, geliştirme, değiştirme yeteneğimizin, kendi yaptığımız araçlarla birleşmesinin sonucudur.

İnsan Beynine Bilgi Yüklemek

Bilgisayarınızın hayal gücünün bir ürünü durumuna gelmek.

—David Victor de Transend, *Godling's Glossary* [*Minyatür Tanrı'nın Terimler Dizini*] "upload" (yükleme) sözcüğünün tanımı

Beyni anlamak için tarama uygulamasından daha tartışmalı bir uygulama, *beyne bilgi yüklemek amacıyla tarama* uygulamasıdır. İnsan beynine bilgi yüklenmesi, beynin belli başlı tüm ayrıntılarını tarayıp ardından bu ayrıntıları yeterli güçte bilgi işlem alt katmanlarına yeniden örnekleyerek kurmak demektir. Bu işlem,

bir insanın tüm kişiliğini, belleğini, becerilerini, tarihini ele geçirebilir.

Eğer bir insanın zihinsel süreçlerini gerçekten ele geçirebiliyorsak, düşüncelerimizin büyük bölümü fiziksel gereksinim ve arzularımıza yönelik olduğundan, o zaman, yeniden örneklenen zihnin bir bedene gereksinimi olacaktır. Beşinci bölümde irdeleyeceğim gibi, insan beynini ele geçirip tüm incelikleriyle yeniden yaratabileceğimiz araçlara sahip olacağımız zaman geldiğinde, zekâmızın uzantılarından yararlanmak isteyecek, biyolojik olan ve olmayan birçok insan için çok sayıda yirmi birinci yüzyıl beden seçenekleri olacaktır. İnsan bedeninin 2.0 sürümü, tamamen gerçekçi sanal ortamlarda, nano teknoloji tabanlı fiziksel bedenleri ve başka bedenleri içerecektir.

Üçüncü bölümde, insan beyninin simülasyonu için bellek ve bilgi işlem gereksinimlerini hesaplayıp irdeledim. İnsan düzeyinde zekânın taklit edilmesi için 10^{16} cps bilgi işlem ve 10^{13} bit belleğin yeterli olduğunu hesaplamama karşın, yüklemenin gereksinimleri için yaptığım hesaplar çok daha yüksekti: Sırasıyla 10^{19} cps ve 10^{18} bit. Yüksek değerlerin nedeni, daha düşük değerlerin, beyin bölgelerinin insanın performans düzeylerinde yeniden oluşturulması gereksinimine dayanırken, yüksek değerlerin, yaklaşık 10^{11} ile 10^{14} sayıda nöron bağlantısının her birinin belli başlı ayrıntılarının elde edilmesine dayanmasıdır. Yükleme işlemi uygulanabildiğinde bir olasılıkla melez çözümlerin yeterli olduğunu göreceğiz. Örneğin, belki duyu verilerine ait sinyallerin işlenmesi gibi belirli destekleyici işlevlerin görev temelinde (standart modülleri devreye alarak) simüle edilmesini yeterli bulacak, nöron altı ayrıntıların elde edilmesini de bireysel kişilik ve becerilerden gerçekten sorumlu olan bölgelere saklayacağız. Ama bu tartışmada yine hesapladığımız yüksek değeri kullanacağız.

İşlevsel simülasyon için gereksinilen kaynaklardan yaklaşık on yıl sonra, yani 2030'ların başlarında temel bilgi işlem kaynakları (10^{19} cps ve 10^{18} bit) yalnızca bin dolar karşılığında elde edilebilecek. Yüklemenin tarama gereksinimleri de, insan zekâsının toplam gücünün "salt" yeniden oluşturulmasına gerekenlerden daha ürkütücüdür. Kuramsal olarak, beynin genel planını tam olarak kavramadan, bütün gerekli ayrıntıları alarak da insan beynine bilgi

yüklenebilir. Uygulamadaysa bunun işlemesi olası değildir. İnsan beyninin çalışma ilkelerinin anlaşılması, hangi ayrıntıların zorunlu olduğunu, hangi ayrıntıların düzensizliğinin amaçlandığını ortaya çıkaracaktır. Örneğin, nöro-ileticilerdeki hangi moleküllerin belirleyici önem taşıdığını, düzeylerin, konum ve yerlerin ve/veya moleküler biçimlerin genelini almamız gerekip gerekmediğini bilmeliyiz. Yukarıda irdelediğim gibi, örneğin, bellek için kilit önem taşıyan şeyin sinapslardaki aktin moleküllerinin konumları ve CPEB moleküllerinin biçimleri olduğunu henüz öğreniyoruz. İşleyiş hakkındaki kuramımızı kavrama biçimimizi doğrulamadan, hangi ayrıntıların can alıcı öneme sahip olduğunu doğrulamak mümkün olmayacaktır. Bu doğrulama, insan zekâsının, Turing testini geçecek olan işlevsel simülasyonu biçiminde olacaktır; bunun da 2029'a kadar gerçekleşeceğini düşünüyorum.[119]

Bu düzeydeki ayrıntıları yakalayabilmek, teknolojisine 2020'lerin sonlarında erişeceğimiz nanobotların kullanımıyla, beynin içinden taranmasını gerektirecektir. Böylelikle, 2030'ların başları, bilgi yükleme için gereken bilgi işlem performansı, belleği ve beyin taramanın ön koşulları için akla yatkın bir zaman dilimidir. Herhangi bir diğer teknoloji gibi bunun da yeteneklerinin mükemmelleştirilmesi, üst üste birtakım düzeltmeler gerektirecektir; bu nedenle de 2030'ların sonları başarılı yükleme için tutucu bir tahmindir.

Ana konumları burası olmakla birlikte, bir insanın kişiliği ile becerilerinin yalnızca beyinde yer almadığına işaret etmemiz gerekir. Sinir sistemimiz tüm bedene yayılır, endokrin (hormon) sistemin de etkisi vardır. Ancak, karmaşıklığın büyük çoğunluğu, sinir sisteminin büyük bölümünün bulunduğu beyindedir. Endokrin sistemden gelen bilginin bant genişliği oldukça düşüktür; çünkü belirleyici etmen her hormon molekülünün tam yeri değil, hormonların genel düzeyleridir.

Yüklemenin dönüm noktasının doğrulanması, Turing testinde "Ray Kurzweil" ya da "Jane Smith" biçiminde, yani bir insan yargıcın yüklenen yeniden yaratımın, yüklenen belirli kişinin gerçeğinden ayırt edilemez olduğuna ikna edilmesiyle olacaktır. O zamana

119 Ray Kurzweil, "A Wager on the Turing Test: Why I Think I Will Win," KurzweilAI.net, 9 Nisan 2002, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0374.html.

gelindiğinde, Turing testinin kurallarının belirlenmesinde bazı güçlüklerle karşılaşacağız. Biyolojik olmayan zekâ, orijinal Turing testini yıllar önce (2029 dolaylarında) geçmiş olacağı için, biyolojik olmayan bir insanın yargıç olmasına izin verecek miyiz? Peki ya geliştirilmiş bir insanın? Geliştirilmemiş bir insanın bulunması giderek zorlaşabilir. Her durumda, yükleyebilme iddiasıyla ortaya çıktığımız zamana kadar elimizin altında biyolojik zekâyı geliştirecek çok çeşitli düzeyler olacağından, gelişmişliği tanımlamak kaygan bir zemin olacaktır. Bir diğer konu ise yükleme yapmak isteyeceğimiz insanların zekâlarının yalnızca biyolojik zekâyla sınırlı olmayacağıdır. Yine de, bilgisayar zekâsının kopyalanması işlemi her zaman bilgisayarın güçlü yanlarından biri olduğundan, biyolojik olmayan zekânın yüklenmesi işlemi görece basit olacaktır.

Ortaya çıkan sorulardan biri, bir insanın sinir sistemini ne kadar hızlı taramamız gerektiği sorusudur. Bir anda yapılamayacağı bellidir, hatta her nöron için bir nanobot kullansak bile verilerin toplanması zaman alacaktır. Bu yüzden, veri toplama süresi içinde insanın durumu değişeceği için yükleme işleminin o insanın, bir saniyenin kesri bir süre de olsa, belli bir andaki durumunu doğru olarak yansıtmayacağını, daha çok zaman içindeki durumunu yansıtacağını söyleyerek buna karşı çıkmak mümkündür.[120] Ancak, bu

120 Robert A. Freitas Jr., etkili biçimde anlık olabilecek nano teknoloji tabanlı bir beyin yükleme sistemi önerir. Freitas'a göre (kişisel iletişim, Ocak 2005), "http://www.nanomedicine.com/NMI/7.3.1.htm adresinde verildiği gibi, laboratuvar ortamında geliştirilmiş bir fiber ağ saniyede 10^{18} bitlik veri trafiğini kaldırabilir. Bu, gerçek zamanlı beyin izleme için yeterince geniş bir kapasitedir. Fiber ağın hacmi 30 cm^3'tür, 4--6 vatlık atık ısı üretir ki her iki değer de 1400 cm^3 ve 25 vatlık insan beyninin içinde güvenli biçimde kurabilecek kadar küçüktür. Sinyaller ışık hızına yakın bir hızda en çok birkaç metre gidebilir. Böylece sinyalin nöronların beynin içinde bulundukları yerdeki çıkış noktasından, yükleme işlemine aracılık eden dışarıdaki bilgisayar sistemine geçiş süresi, ~0,00001 msn'dir ki bu süre nöronun boşalma döngüsünün gerçekleştiği ~5 msn'den kısa bir süredir. Birbirlerinden ortalama ~2 mikron uzaklıkta bulunan nöronu izleyen kimyasal algılayıcılar, ~5 msn'lik zaman penceresinde gerçekleşen ilgili kimyasal olayları yakalayabilirler çünkü bu, örneğin küçük bir nöropeptitin 2 mikronluk bir uzaklığa ortalama yayılma hızıdır (http:// www.nanomedicine.com/NMI/Tables/3.4.jpg). Böylece, insan beyninin durumunun izlenmesi anlık olarak, en azından insanın sinirsel tepkilerinin süresi içinde ve 'önemli hiçbir şey kaçırmadık' denebilecek düzeyde mümkündür."

konunun, yapılan yüklemenin bir "Jane Smith" Turing testini geçmesine engel olmayacağını düşünün. Günlük yaşamda birbirimizle karşılaştığımızda, son görüşmemizin üzerinden günler hatta haftalar da geçmiş olsa kendimiz olarak tanınırız. Eğer yapılan bir yükleme o kişinin durumunu, saniyeden az bir sürede, hatta birkaç dakika içinde olabilecek doğal değişim oranına göre yeniden oluşturmak için yeterince doğruysa, söz konusu yükleme akla yatkın her amaç için yeterli olacaktır. Bazı gözlemciler, Roger Penrose'un kuantum bilgi işlem ile bilinç arasında bağlantı kuran kuramını (*bkz.* dokuzuncu bölüm), insanın "kuantum durumunun," taramanın süresi içinde birçok kez değişmiş olacağı için bu yüklemenin olanaksız olduğunu söylediği şeklinde yorumlamışlardır. Buna karşılık olarak, bu tümceyi yazdığım süre içerisinde, kuantum durumumun birçok kez değişmiş olduğunu ama kendimi yine de aynı insan olarak gördüğümü söyleyebilirim (buna karşı çıkan da yok gibidir).

Nobel Ödülü sahibi Gerald Edelman, bir yetenek ile o yeteneğin tanımı arasında fark olduğuna işaret eder. Bir insanın fotoğrafı, fotoğraf çok yüksek çözünürlükte ve üç boyutlu olsa bile, o insanın kendisinden farklıdır. Ancak yükleme kavramı, Edelman'ın benzetmesinde kullandığı "fotoğrafın" yerine düşünebileceğimiz, son derece yüksek çözünürlüğün de ötesine geçmektedir. Tarama, belli başlı ayrıntıların tamamını yakalamalı, ama aynı zamanda (yeni biyolojik olmayan platformların çok daha yetenekli olacağı kesinse de) orijinalinin yeteneklerini taşıyan, işler bir bilgi işlem örneği de oluşturmalıdır. Sinirsel ayrıntılar, birbirleriyle (ve dış dünyayla) tıpkı orijinaldeki gibi etkileşimde olmalıdırlar. Benzer bir analoji, bir bilgisayar diski üzerinde bulunan bilgisayar programı (bir statik resim) ile uygun bir bilgisayar üzerinde etkin olarak çalışan (dinamik, etkileşim içindeki birim) arasındaki kıyaslamadır. Yükleme senaryosunu oluşturan, hem veri toplama hem de dinamik birimin örneklemesidir.

Belki de en önemli soru, yüklenen insan beyninin gerçekten siz olup olmadığınız sorusudur. Yükleme, kişiye özel bir Turing testini geçse, onun sizden ayırt edilemediği düşünülse bile, yine de yüklemenin sizinle aynı kişi mi yoksa yeni bir insan mı olduğunu sormak mümkündür. Ne de olsa orijinal kişi hâlâ yaşamaktadır. Bu temel soruları yedinci bölüme erteliyorum.

Bence yüklemenin en önemli unsuru, zekâmızın, kişiliğimizin ve becerilerimizin, kademeli olarak zekâmızın biyolojik olmayan bölümüne aktarılması olacaktır. Daha şimdiden elimizde çeşitli nöron implantları var. 2020'lerde beyinlerimizi biyolojik olmayan zekâyla büyütmeye başlamak için nanobotlar kullanacak, işe duyu işlemlerinin ve belleğin gerçekleştirdiği "sıradan" işlevlerle başlayıp beceri oluşturma, örüntü tanıma ve mantıksal çözümlemeye geçeceğiz. 2030'lu yıllara geldiğimizde beynimizin biyolojik olmayan bölümü ağır basacak, 2040'lara geldiğimizde ise, üçüncü bölümde belirttiğim gibi, biyolojik olmayan bölüm milyarlarca kat daha yetenekli olacaktır. Beynimizin biyolojik bölümünü bir süre koruyacağız, ama bu çok önemli olmayacaktır. Kademeli de olsa kendimizi verimli biçimde, aktarma işlemini hissetmeden yüklemiş olacağız. "Yeni Ray" ya da "Eski Ray" olmayacak, yalnızca giderek daha fazla yetenek kazanan bir Ray olacaktır. Bu bölümde irdelendiği üzere, bir anda gerçekleşen tara–ve–aktar senaryosundaki gibi bir yüklemenin geleceğin dünyasının bir özelliği olacağına inanmakla birlikte, insan uygarlığının dönüşümünü sağlayacak olan şey, çok üstün düzeydeki biyolojik olmayan düşünmeye doğru giden, engellenemez gelişmedir.

Sigmund Freud: *İnsan beyni üzerinde ters mühendislik işleminden söz ettiğinde tam olarak kimin beyninden söz ediyorsun? Bir erkeğin beyninden mi? Yoksa bir kadınınkinden mi? Bir çocuğun mu? Bir dâhinin mi? Bir zekâ özürlünün mü? Bir "aptal dâhinin" mi? Yetenekli bir sanatçının mı? Yoksa bir seri katilin mi?*

Ray: *Sonuçta yukarıdakilerin hepsinden söz ediyoruz. İnsan zekâsının ve onu oluşturan çeşitli becerilerin nasıl çalıştığını anlamamız gereken temel çalışma ilkeleri var. İnsan beyninin plastisitesini göz önüne alırsak, düşüncelerimiz, yeni omurgaların, sinapsların, dendritlerin, hatta nöronların gelişimiyle, beynimizi sözcüğün tam anlamıyla yaratmaktadır. Sonuç olarak, Einstein'ın yan lobları –görsel imgeleme ve matematik düşünceyle ilgili bölge– büyük ölçüde büyümüştür.*[121] *Ancak, kafatasımızın içindeki yer*

121 M. C. Diamond vd, "On the Brain of a Scientist: Albert Einstein," *Experimental Neurology* (1985): 198–204.

belirlidir, Einstein çalgı çalabilmekle birlikte, dünya çapında bir müzisyen olmamıştır. Picasso çok güzel şiirler yazmamıştır vs. Biz, insan beynini yeniden oluşturdukça, her beceriyi geliştirmek için var olan yeteneklerimizle sınırlı kalmayacağız. Bir bölgeyi geliştirmek için diğer bir bölgeyi gözden çıkarmak zorunda kalmayacağız.

Ayrıca aramızdaki farkları, insanın işlevsel bozukluğunu da daha iyi anlayabileceğiz. Seri katilde, ters giden nedir? Sonuçta bu insanın beyniyle ilgili bir sorun olması gerekir. Böylesine yıkıcı davranışın, sindirim sistemindeki bir sorunun sonucu olmadığı bellidir.

Molly 2004: *Aramızdaki farklılıkların kaynağının yalnızca doğuştan gelen beyinlerimiz olduğundan kuşkuluyum. Ya bir yaşam boyu verdiğimiz mücadele, öğrenmeğe çalıştığım bunca şey?*

Ray: *Evet, tabii, o da paradigmanın bir parçası değil mi? Öğrenebilen beyinlerimiz var; yürüyüp konuşmayı öğrendiğimiz günden başlayarak üniversitede çalıştığımız kimyaya kadar.*

Marvin Minsky: *Yapay zekâlarımızı eğitmenin sürecin önemli bir parçası olduğu doğru; ama bu sürecin çoğunu otomatikleştirerek çok daha hızlandırabiliriz. Ayrıca, bir yapay zekânın öğrendiği bir şeyi çabucak diğer yapay zekâlarla paylaşabileceğini unutmayın.*

Ray: *Ağ üzerinde üstel büyüyen tüm bilgilerimize erişimleri olacak; bu ağ da üzerinde birbirleriyle ve izdüşümlerini bu ortamlara yansıtan biyolojik insanlarla etkileşime girebilecekleri, yaşanabilir, tam sanal gerçeklik ortamları olacaktır.*

Sigmund: *Bu yapay zekâların henüz bedenleri yok. İkimizin de işaret ettiği gibi, insan duyguları ile çoğu düşüncemiz bedenlerimize ve duyumsal ve cinsel gereksinimlerimize yöneliktir.*

Ray: *Bedenleri olmayacağını kim söyledi? Altıncı bölümdeki, insan bedeni sürüm 2.0 kısmında ele alacağım gibi, biyolojik olmayan ama insanınkine benzer bedenleri, yanı sıra sanal gerçeklikte sanal bedenleri oluşturacak* araçlarımız *olacak.*

Sigmund: *Ama sanal beden gerçek bir beden değildir.*

Ray: *"Sanal" sözcüğü biraz talihsiz bir sözcük. "Gerçek olmayanı" belirtir; ama gerçekte sanal beden, önemli tüm unsurlar açısından fiziksel bir beden kadar gerçektir. Telefonun işitsel sanal gerçeklik olduğunu düşün. Kimse bu sanal gerçeklik ortamında kendi sesinin "gerçek" bir ses olmadığını düşünmez. Bugünkü fiziksel bedenimle biri koluma dokunduğunda bunu doğrudan hissetmiyorum. Beynim, kolumdaki sinir uçlarından başlayarak, omurilikten geçip beyin sapına, oradan da insula bölgelerine gelen işlenmiş sinyalleri alıyor. Eğer beynim –ya da bir yapay zekânın beyni– birisinin sanal bir kola sanal bir dokunuşuyla benzer sinyaller alırsa, arada ayırt edilebilecek bir fark olmaz*

Marvin: *Bütün yapay zekâların insan bedeni gereksinmeyeceklerini unutmayın.*

Ray: *Doğru. Bir parça plastisiteye karşın biz insanların bedenleri de, beyinleri de göreli değişmez bir mimariye sahiptir.*

Molly 2004: *Evet, buna insan deniyor, senin sorunun olan şey.*

Ray: *Aslında, beynimin sınırlamaları bir yana, bu 1.0 sürüm bedenimin sınırlamaları, bakım gereksinimleriyle çoğu zaman sorunum oluyor. Ama insan bedeninin verdiği zevklerin de değerini biliyorum. Demek istediğim, yapay zekâların da gerçek ve sanal gerçeklik ortamlarında eşdeğer insan bedenlerine sahip olacakları, sahip olabilecekleri. Ancak Marvin'in belirttiği gibi, yalnızca bununla sınırlı olmayacaklar.*

Molly 2104: *Sürüm 1.0 insan bedeninin getirdiği sınırlamalardan kurtulacak olan yalnızca yapay zekâlar değil. Biyolojik kökenli insanlar da hem gerçek hem de sanal gerçeklikte aynı özgürlüğe sahip olacaklar.*

George 2048: *Unutmayın ki yapay zekâlar ile insanlar arasında net bir ayrım olmayacak.*

Molly 2104: *Evet, tabii ki MOSH'lar (Çoğunluğu Orijinal Alt Katman İnsanlar) hariç.*

Beşinci Bölüm

GNR
Örtüşen Üç Devrim

Günümüz kuşağının, her gün çeşitli mekanik aygıtlarda ortaya çıkan güzel gelişmelerden, haklı olarak, çok daha gurur duyduğu birkaç şey var. ... Ama teknoloji dünyasındaki evrim, hayvan ve bitki dünyalarındaki evrimden çok daha hızlı ilerlese ne olurdu? Bu bizi dünyadaki üstün yerimizden eder miydi? Tıpkı bitkiler dünyasından bir mineralden yavaş yavaş gelişerek ortaya çıktığı, hayvanın da benzer biçimde bitkinin ardından geldiği gibi, şimdi bu son çağlarda yepyeni bir dünya ortaya çıktı; bu dünyada, bugüne kadar gördüklerimiz bir gün bir ırkın çok eskide kalan ilk örnekleri olarak görülecektir. ... Her gün [makinelere] daha fazla güç veriyor, onlara o kendini denetleyen, kendiliğinden davranan gücü her tür dâhice mekanizmayla birlikte sağlıyoruz. Bugün zihin gücü insan ırkı için neyse bu güç de o olacaktır.

—Samuel Butler, 1863 (Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nin yayımlanmasından dört yıl sonra)

İnsanın ardılı kim olacak? Sorunun yanıtı şudur: Ardılımızı biz kendimiz yaratıyoruz. At ve köpek insan için neyse, insan da makine için o olacaktır; sonuç, makinelerin canlanması ya da canlanmaya başlamasıdır.

—Samuel Butler, 1863 yılına ait mektup, "Darwin Among the Machines" ["Makineler Arasında Darwin"][1]

1 Samuel Butler (1835–1902), "Darwin Among the Machines," *Christ Church Press*, 13 Haziran 1863 (Festing Jones tarafından 1912'de *The Notebooks of Samuel Butler* içinde yeniden yayımlanmıştır).

Yirmi birinci yüzyılın ilk yarısı, örtüşen üç devrimle tanımlanacak: Genetik, Nano teknoloji, Robotbilim. Bunlar, daha önce Beşinci Evre olarak söz ettiğim evrenin, yani Tekilliğin başlangıcının yolunu açacak. Bugün, "G" devriminin erken dönemlerini yaşıyoruz. Yaşamın temelinde yatan bilgi süreçlerini anlayarak biyolojimizi, hastalığın sanal olarak ortadan kaldırılmasını, insanın sahip olduğu potansiyelin çarpıcı ölçüde gelişmesini, yaşamın akılcı biçimde uzamasını başaracak biçimde yeniden programlamayı öğrenmeğe başlıyoruz. Bununla birlikte Hans Moravec, DNA tabanlı biyolojimize ne kadar başarıyla ince ayar yaparsak yapalım, insanların "ikinci sınıf robotlar" olarak kalacağına, yani biyolojinin, biyolojinin çalışma ilkelerini tam olarak anladığımızda yapabileceklerimize hiçbir zaman eşdeğer olamayacağına işaret etmektedir.[2]

"N" devrimi, bedenlerimizi, beyinlerimizi ve etkileşimde olduğumuz dünyayı –tek tek her molekülünü– biyolojinin getirdiği sınırlamaların çok ötesine geçip yeniden tasarlamamızı ve yeniden kurabilmemizi sağlayacaktır. Kapımızda duran devrimler arasında en güçlü devrim "R"dir: Kendi zekâmızdan türeyip insanın yeteneklerinin çok ötesine geçecek biçimde yeniden tasarımlanan zekâya sahip, insan düzeyinde robotlar. R, dönüşümlerin en önemlisini temsil eder; çünkü zekâ evrendeki en etkili "güçtür." Zekâ yeterince gelişmişse, yolunda duran her engeli önceden görüp üstesinden gelebilecek kadar akıllıdır.

Her devrim kendinden önceki dönüşümlerde ortaya çıkan sorunları çözerken, aynı zamanda ortaya yeni tehlikeleri de çıkaracaktır. G, hastalıkların ve yaşlanmanın getirdiği yüzyıllık zorlukları yenecek ama yeni biyomühendislik uygulamaları sonucunda, viral tehditler için potansiyel oluşturacaktır. N tam olarak geliştiğinde, onu kendimizi tüm biyolojik yıkımlardan korumak için kullanabileceğiz; ama kendisi, kendiliğinden kopyalanan tehlikeler olasılığını da oluşturacak, bunlar da biyolojik olan herhangi bir şeyden çok daha güçlü olacaktır. Tam gelişen R ile kendimizi bu tehlikelerden koruyabileceğiz, fakat bizi kendi zekâmızın ilerisine

2 Peter Weibel, "Virtual Worlds: The Emperor's New Bodies," *Ars Electronica: Facing the Future* içinde, yay. haz. Timothy Druckery (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1999), s. 207–223; http://www.aec.at/en/archiv_files/19902/E1990b_009.pdf adresinde çevrimiçi yayımlanmıştır.

geçen patolojik zekâdan koruyacak olan nedir? Bu konularla baş edebilecek stratejilerim var. Bunları sekizinci bölümün sonunda ele alacağım. Bu bölümde yalnızca Tekilliğin örtüşen şu üç devrimin içinden nasıl gelişip ilerleyeceğini inceleyeceğiz: G, N, R.

Genetik: Bilgi ile Biyolojinin Kesişimi

> Doğru olduğunu varsaydığımız bu eşleşmenin doğrudan genetik malzemenin olası bir kopyalanma mekanizmasını ortaya koyduğu gözümüzden kaçmamıştır.
>
> —James Watson ve Francis Crick[3]

> Üç milyar yıl süren evrimin sonunda, her birimizi tek hücreli yumurtadan yetişkinliğe ve yetişkinlikten de mezara taşıyan komut kümesi önümüzde durmaktadır.
>
> —Dr. Robert Waterston, Uluslararası İnsan Genomu Dizileme Konsorsiyumu[4]

Yaşamın bütün mucizelerinin ve bütün hastalık dertlerinin altında yatan bilgi süreçleri, özünde, şaşırtıcı derecede yoğun yazılım programlarıdır. İnsan genomunun tamamı, yalnızca yaklaşık sekiz yüz milyon bitlik bilgi içeren bir ardışık ikili koddur. Daha önce belirttiğim gibi, geleneksel sıkıştırma yöntemleri kullanılarak yoğun artıklıkları alındığında geriye kalan, yalnızca otuz ile yüz milyon bit arasında, çağdaş bir ortalama yazılım programının eşdeğeridir.[5] Bu kod, bu doğrusal (tek boyutlu) DNA "harf" dizilerini amino asit adı verilen basit yapı taşı dizilerine çeviren –bunlar da sırasıyla katlanarak bakterilerden insanlara kadar bütün canlıları oluşturan üç boyutlu proteinlere dönüşürler– bir biyokimya makineleri kümesi tarafından desteklenmektedir. (Virüsler, canlı ve olmayan madde arasındaki bir nişte yer alır, ama aynı zamanda

3 James Watson ve Francis Crick, "Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid," *Nature* 171.4356 (23 Nisan 1953): 737–738, http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf.

4 Robert Waterston'dan alıntı: "Scientists Reveal Complete Sequence of Human Genome," *CBC News*, 14 Nisan 2003, http://www.cbc.ca/story/science/national/2003/04/14/genome030414.html.

5 *Bkz.* ikinci bölüm 57. not.

DNA ya da RNA parçalarından oluşurlar.) Bu mekanizma, temelde kendiliğinden kopyalanarak, canlı bir varlığın bünyesinde barındırdığı ayrıntılı yapı hiyerarşisini, giderek de daha karmaşık sistemlerini kuran nano ölçekli bir çoğaltıcıdır.

Yaşamın Bilgisayarı

Evrimin en erken evrelerinde bilgi giderek daha karmaşıklaşan karbona dayanan organik moleküllerin yapısında kodlanmıştır. Milyarlarca yıl sonra biyoloji, DNA molekülüne dayanan sayısal verilerini saklayıp, denetleyebilmek için kendi bilgisayarını geliştirdi. DNA molekülünün kimyasal yapısı ilk olarak J. D. Watson ve F. H. C. Crick tarafından 1953'te, her konumda nükleotid seçimiyle kodlanan bilgiyi taşıyan polinükleotid zincir çiftlerinden oluşan çiftli bir sarmal olarak tanımlandı.[6] Genetik kodun şifresinin çözülmesini bu yüzyılın başında tamamladık. Şimdi, DNA'nın, haberci RNA (mRNA), transfer RNA (tRNA) ve ribozomlar gibi diğer karmaşık molekül ve hücre yapıları yoluyla üreme komutu verirken kullandığı iletişim ve denetim süreçlerinin ayrıntılı kimyasını anlamaya başlıyoruz.

Mekanizma, bilgi saklama düzeyinde şaşırtıcı derecede basittir. Dönen bir şeker–fosfat omurganın desteklediği DNA molekülü, her biri dört harflik bir alfabenin bir harfiyle kodlanmış birkaç milyon basamaktan oluşur; böylece her basamak da tek boyutlu sayısal kodda iki bitlik veriyi kodlar. Alfabe, dört baz çiftinden oluşur: Adenin–timin, timin–adenin, sitosin–guanin, guanin–sitosin. Tek hücredeki DNA zincirleri açıldıklarında yaklaşık 183 cm uzunluğundadırlar; ama hassas bir paketleme yöntemiyle yalnızca 2,5 cm'nin 1/2500'ü uzunluktaki bir hücreye sığacak biçimde sarılmışlardır.

6 Crick ve Watson'un okuması bugün bile zor raporlarının orijinal metni, *Classic Papers in Genetics*, yay. haz. James A. Peters içinde bulunabilir (Englewood Cliffs, NJ: Prentice–Hall, 1959). Çiftli sarmalın ortaya sürülmesinin yolunu hazırlayan başarılar ile başarısızlıkların heyecan veren bir anlatımı, J. D. Watson, *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA* içinde verilmektedir (New York: Atheneum, 1968). Nature.com'da, Crick'in bildirilerinden bir koleksiyon çevrimiçi bulunmaktadır: http://www.nature.com/nature/focus/crick/index.html.

Özel enzimler, her baz çiftini ayırıp, ayrılan bu baz çiftlerini yeniden eşleştirme yoluyla birbirinin aynı iki DNA molekülünü bir araya getirip, her basamaktaki bilgiyi kopyalayabilmektedir. Başka enzimler ise baz çiftlerinin eşleşmesinin doğruluğunu kontrol ederek bu kopyalama işleminin geçerliliğini denetlerler. Söz konusu kimyasal veri işleme sistemi, bu kopyalama ve doğrulama adımlarını yürütürken yaklaşık on milyar baz çifti kopyasında yalnızca bir hata yapar.[7]

Daha fazla artıklık ve hata düzeltme kodları, sayısal verinin içinde yerleşik olarak bulunmakta, böylelikle baz çiftlerinin kopyalanmasındaki hatalar sonucunda oluşan anlamlı değişinimler ender olarak ortaya çıkmaktadır. Sekiz milyarda birlik hata oranının sonucunda ortaya çıkan hataların birçoğu "eşleşme" hatalarına karşılık gelmektedir; bu hatalar da sistemin diğer düzeylerinde saptanıp, hatalı bölümün herhangi bir önemli hasara neden olmasını engelleyebilecek şekilde doğru kromozomla eşleştirme gibi işlemlerle düzeltilebilen hatalardır.[8] Yeni yapılan araştırmalar, genetik sistemin erkek Y kromozomunun şifresinin çözülmesinde, her Y kromozomu genini o kromozom üzerindeki kopyasıyla eşleştirerek bu tür hataları saptadığını göstermiştir.[9] Uzun sürecin bir yerinde bir şifresinin çözme hatası, evrimin dikkate alacağı yararlı bir değişimle sonuçlanacaktır.

Teknik olarak translasyon (dönüştürme) adı verilen bir süreçte, birtakım başka kimyasal dizileri proteinler oluşturarak bu ayrıntılı sayısal programı eyleme geçirirler. Her hücreye yapısını, davranışını ve zekâsını veren şey protein zincirleridir.

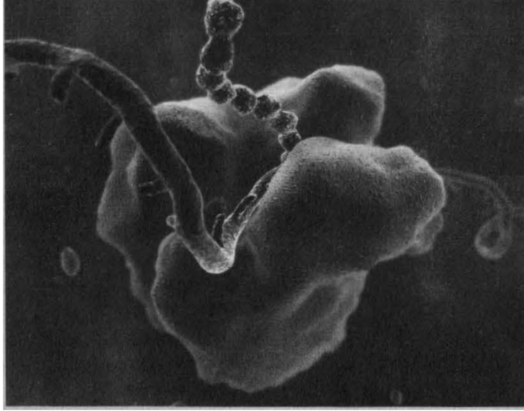
---

7 Morislav Radman ve Richard Wagner, "The High Fidelity of DNA Duplication," *Scientific American* 259.2 (Ağustos 1988): 40–46.

8 DNA ve RNA'nın yapıları ile davranışları, Gary Felsenfeld, "DNA" ve James Darnell, "RNA" içinde betimlenmektedir. Her iki kaynak da *Scientific American* 253.4 (Ekim 1985) dergisinde, sırasıyla s. 58–67 ve 68–78'de yayımlanmıştır.

9 Mark A. Jobling ve Chris Tyler-Smith, "The Human Y Chromosome: An Evolutionary Marker Comes of Age," *Nature Reviews Genetics* 4 (Ağustos 2003): 598–612; Helen Skaletsky vd, "The Male-Specific Region of the Human Y Chromosome Is a Mosaic of Discrete Sequence Classes," *Nature* 423 (19 Haziran 2003): 825–837.

Özel enzimler, belirli bir proteini oluşturmak için DNA'nın bir bölgesini çözer. mRNA zincirleri, açığa çıkan baz dizisinin kopyalanmasıyla oluşurlar. Özünde mRNA, DNA harf dizisinin bir bölümünün kopyasını barındırır. mRNA çekirdekten çıkarak hücre gövdesine gider. Ardından, biyolojik üreme düzeninde orta molekül oyuncusunu temsil eden bir ribozom çekirdeği mRNA kodlarını okur. Ribozomun bir bölümü, bir teyp kayıt aygıtının kafası gibi çalışarak mRNA baz dizisinde kodlanmış veri dizisini "okur." "Harfler" (bazlar), kodon adı verilen üç harflik sözcükler halinde gruplanırlar; yirmi olası aminoasidin (proteinin temel yapı taşları) her birine bir kodon düşer. Ribozom, kodonları mRNA'dan okur, ardından tRNA'yı kullanarak amino asitleri teker teker alarak protein zincirini oluşturur.



Bu sürecin dikkate değer son adımı, tek boyutlu amino asit zincirinin "halkalarının" katlanarak üç boyutlu proteinlere dönüşmesidir. Bu işlemin simülasyonu, ilgili bütün atomların etkileşiminden doğan büyük karmaşıklık nedeniyle henüz yapılamamıştır. Bu kitabın yayımlandığı sıralarda (2005) çevrimiçi olması planlanan süper bilgisayarların, protein katlanmasını ve aynı zamanda bir üç boyutlu proteinin bir diğeriyle girdiği etkileşimi simüle edecek kapasiteye sahip olması bekleniyor.

Protein katlanması, hücre bölünmesinin yanı sıra, doğanın, yaşamın yaratılması ve yeniden yaratılmasındaki olağanüstü ve karmaşık danslarından biridir. Özel "şaperon" moleküller, amino asit zincirleri üç boyutlu protein yapılanmalarına geçerken onları korur ve yönlendirirler. Oluşan protein moleküllerinin üçte biri kadarı hatalı katlanır. Bu biçimsiz proteinlerin hemen yok edilmeleri gerekir, aksi takdirde, hızla birikip birçok düzeyde hücrelerin çalışmasını aksatırlar.

Normal koşullar altında, hatalı katlanmış bir protein oluşur olmaz, bir taşıyıcı molekül olan ubikuitin tarafından etiketlenir ve özel bir proteozoma götürülür; burada, yeni (doğru katlanmış) proteinlere dönüştürülmek üzere yeniden amino asitlere ayrılır. Ancak, hücreler yaşlandıkça, bu mekanizmanın optimal işlerliği için gereken enerjiyi daha az üretirler. Hatalı biçimlenen bu proteinler birikerek, Alzheimer hastalığının ve diğer bazı hastalıklara yol açan hastalık süreçlerinin temelinde yattığı düşünülen protofibril adı verilen parçacıklar olarak birleşir.[10]

10 Hatalı biçimlenen proteinler belki de en tehlikeli toksindir. Araştırmalar, hatalı katlanan proteinlerin bedende ortaya çıkan birçok hastalık sürecinin merkezinde yer alabileceğini ortaya koymaktadır. Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı, deli dana hastalığının insandaki biçimi, kistik fibrozis, katarakt ve şeker hastalığı gibi farklı birçok hastalığın, bedenin hatalı biçimlenen proteinleri gereğince yok edememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
Protein molekülleri hücre çalışmasında aslan payını üstlenmektedir. Proteinler her hücrede DNA'nın planına göre yapılır. Uzun amino asit zincirleri olarak başlarlar, ardından bu amino asit zincirlerinin, enzim, taşıma proteini vb görevleri yapabilmeleri için doğru biçimde üç boyutlu yapılarına katlanmaları gerekir. Ağır metal toksinleri, bu enzimlerin normal çalışmasını bozar, sorunu giderek ağırlaştırır. Bireyleri hatalı oluşan bu protein yapısına yatkınlaştıran genetik değişinimler de bulunmaktadır.
Protofibriller birbirleriyle birleşmeye başladıklarında, filamentleri, fibrilleri, sonunda da amiloid plak adı verilen büyük küresel yapıları oluştururlar. Yakın zamana kadar bu çözünmez plak birikimleri, belirtilen hastalıkların patolojik etkenleri olarak görülmekteydi ama bugün gerçek sorunun protofibriller olduğu bilinmektedir. Bir protofibrilin çözünmez amiloid plaka dönüşme hızı, hastalığın ilerlemesiyle ters ilişkilidir. Bu da bazı insanların beyinlerinde yoğun plak birikimi olmasına karşın Alzheimer hastalığının izine rastlanmazken, az plak görülen diğerlerinin neden hastalığın yoğun belirtilerini gösterdiklerini açıklamaktadır. Bazı insanlarda amiloid plak çok hızlı oluşur, bu da onları daha fazla protofibril hasarından korur. Bazı insan-

Atom düzeyinde etkileşimlerin üç boyutlu valsini simüle etme yeteneği, DNA dizilerinin yaşamı ve hastalıkları nasıl yönettiklerini anlamamızı büyük oranda hızlandıracaktır. O zaman, bu sürecin herhangi bir aşamasında devreye girebilecek ilaçları hızla simüle edebilecek duruma gelecek, böylelikle de ilaç gelişimini ve istenmeyen yan etkileri en aza indiren çok gelişmiş ilaçların yapılmasını hızlandırabileceğiz. Hücrenin ve onun uzantısı olarak da organizmanın işlevlerini yerine getirmek, birleşen proteinlerin görevidir. Örneğin, akciğerlerden vücudun dokularına oksijen taşımakla görevli bir hemoglobin molekülü, saniyede beş yüz trilyon kez üretilmektedir. Her hemoglobin molekülünde beş yüzden fazla amino asit olduğuna göre bu, yalnızca hemoglobin üretimi için ribozomların dakika başına $1,5 \times 10^{19}$ (on beş milyar kere milyar) "okuma" işlemi yürütmesi demektir. Yaşamın biyokimyasal mekanizması bazı bakımlardan olağanüstü karmaşık ve dolaşıktır; bazı bakımlardansa olağanüstü basittir. İnsan yaşamının ve bildiğimiz tüm diğer yaşamların karmaşıklığını sayısal olarak saklayan, topu topu dört baz çiftidir.

Ribozomlar, üçlü baz çiftlerini gruplayıp, yalnızca yirmi amino asit arasından dizileri seçerek protein zincirleri oluşturur. Amino asitlerin kendileri görece basittir; bir hidrojen atomuna, bir amino [$-NH_2$] grubuna, bir karboksilik asit [$-COOH$] grubuna ve her amino asit için farklı olan bir organik gruba bağlanan dört bağlı bir karbon atomundan oluşur. Örneğin, alanin için bu organik grupta toplam on üç atoma karşılık yalnızca dört atom [CH_3-] bulunur. Daha karmaşık aminoasitlerden biri olan argininin (atardamarımızdaki endotelyal hücrelerin sağlığında yaşamsal rol oynar) organik grubunda, toplam yirmi altı atoma karşılık yalnızca on yedi atom bulunur. Bu yirmi basit molekül parçası, yaşamın yapı taşlarıdır.

larda ise protofibrillerin amiloid plaklara dönüşmesi daha yavaş olur, bu da daha fazla hasara neden olur. Ayrıca bu kişilerde az sayıda görünür amiloid plak bulunur. *Bkz.* Per Hammarström, Frank Schneider ve Jeffrey W. Kelly, "*Trans*-Suppression of Misfolding in an Amyloid Disease," *Science* 293.5539 (28 Eylül 2001): 2459–2462.

Protein zincirleri bunun dışında her şeyi denetlerler: Kemik hücrelerinin yapısı, kas hücrelerinin esneme ve diğer kas hücreleriyle uyumlu devinim yeteneği, kan akışında gerçekleşen karmaşık biyokimyasal etkileşimlerin tümü ve elbette beynin yapısı ve çalışması.[11]

Tasarlanmış Doğum Patlamaları

Bugün, hastalık ve yaşlanma süreçlerinin yavaşlatılmasıyla, benim gibi, savaş sonrası doğum patlaması yıllarında doğanların, nano teknoloji devrimini hazırlayacak biyoteknoloji devrimi tam olgunlaşıncaya dek sağlıklarını korumalarına yetecek bilgimiz var (*bkz.* s. 489'daki Kaynaklar ve İletişim). Tıp doktoru ve öncü bir uzun yaşam uzmanı olan Terry Grossmann'la yazdığımız *Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever* adlı kitapta, bizi yaşam süresinin köklü biçimde uzatılması hedefine ulaştıracak bu üç köprüyü (günümüz bilgisini, biyoteknolojiyi ve nano teknolojiyi) irdeledik.[12] Kitapta şöyle yazdım: "Çağdaşlarımdan bazıları güzel yaşlanmayı yaşam döngüsünün bir parçası olarak kucaklamaktan hoşnut; ama ben onlarla aynı görüşte değilim. 'Doğal' olabilir ama çevik düşüncemi, keskin duyularımı, fiziksel formumu, cinsel isteğimi ya da diğer herhangi bir insani yeteneğimi yitirmenin olumlu bir yanını göremiyorum. Hastalık ve ölümü, hangi yaşta olursa olsun felaket sayıyorum."

Birinci köprüde, yaşlanmanın büyük ölçüde yavaşlatılması için bugün elimizde olan bilginin agresif biçimde uygulanarak, kalp hastalığı, kanser, tip 2 şeker hastalığı ve inme gibi çok önemli hastalık süreçlerinin tersine çevrilmesi söz konusudur. Devraldığımız genetik mirasın üstesinden gelebilmek için, agresif biçimde uygulandığı takdirde biyokimyanızı yeniden programlayabilirsiniz; bugün birçok durum için bu bilgiye sahibiz. "Çoğunlukla gen-

11 Yeni biyolojinin etkileyici bir anlatımı için *bkz.* Horace F. Judson, ***The Eighth Day of Creation: The Makers of the Revolution in Biology*** (Woodbury, NY: CSHL Yayınları, 1996).

12 Raymond Kurzweil ve Terry Grossman, M.D., ***Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever*** (New York: Rodale Yayınları, 2004). *Bkz.* http://www.Fantastic-Voyage.net ve http://www.RayandTerry.com.

lerimizden kaynaklanır" düşüncesi, ancak sağlık ve yaşama karşı alışıldık, edilgen tavrı benimserseniz doğrudur.

Benimkisi öğretici bir öyküdür. Yirmi yılı aşkın bir süre önce bana iki tür şeker hastalığının tanısı kondu. Klasik sağaltım yöntemi hastalığımın ilerlemesine neden oldu. Ben de, bir mucit olarak, yaşadığım bu sağlık sorununu kendi bakış açımla ele aldım. Bilimsel literatürü belleyip, sonuçta şeker hastalığımı başarılı biçimde gerileten ender bir program buldum. 1993'te bu deneyimimi anlatan *The 10% Solution for a Healthy Life* [*Sağlıklı Yaşamın %10 Çözümü*] adlı bir sağlık kitabı yazdım; bugün artık bu hastalıkla ilgili herhangi bir belirti ya da rahatsızlık yaşamıyorum.[13]

Bir de, ben yirmi iki yaşındayken, babam elli dört yaşında kalpten öldü. Babamdan, beni de bu hastalığa yatkınlaştıran genleri almışım. Amerikan Kalp Vakfının yayımladığı ilkelere uymama karşın, bundan yirmi yıl önce kolesterolüm 200'lere (180'in çok altında olması gerekir) çıktı, HDL (yüksek dansiteli lipoprotein, "iyi" kolesterol) değerim 30'un altına (50'den yüksek olması gerekir) indi. Homosistein ise sağlıksız bir değer olan 11 seviyesine çıktı (7,5'ten düşük olması gerekir). Grossmann'la birlikte geliştirdiğimiz bir uzun yaşam programının sonucunda, kolesterolüm şimdi 130 düzeyinde, HDL değerim 55, homosistein 6,2, C–Reaktif protein değerimse (bedendeki yangının ölçüsü) 0,01 ile oldukça sağlıklı düzeyde. Tüm diğer veriler de (kalp hastalığı, şeker ve diğer belirtiler) ideal seviyelerde.[14]

Kırk yaşıma geldiğimde biyolojik yaşım otuz sekiz dolaylarındaydı. Şu anda elli altı olmama karşın, Grossmann'ın uzun yaşam kliniğinde biyolojik yaşım için yapılan kapsamlı testler (çeşitli duyusal etkinlikler, akciğerlerin kapasitesi, tepki süreleri, bellek ve ilgili testler) biyolojik yaşımı kırk olarak ölçtü.[15] Biyolojik ya-

13 Raymond Kurzweil, *The 10% Solution for a Healthy Life: How to Eliminate Virtually All Risk of Heart Disease and Cancer* (New York: Crown Books, 1993).

14 Kurzweil ve Grossman, *Fantastic Voyage*. "Ray & Terry's Longevity Program," kitap genelinde anlatılmaktadır.

15 H–Scan adı verilen "biyolojik yaş" ölçümü, işitsel tepki verme süresi, en yüksek duyulabilir ses perdesi, titreşime duyarlık, görsel tepki verme süresi, kas hareket süresi, akciğer (zorlu ekspiratuar) hacmi, karara bağlı görsel tepki verme süresi, karara bağlı kas hareket süresi, bellek (dizilim uzunluğu), alternatif düğmelere basma süresi ve görsel bağdaştırma testlerini içermek-

şın nasıl ölçüleceği konusunda henüz bir görüş birliği oluşmamış olmakla birlikte, bu testlerde aldığım sonuçlar bu yaşın nüfus normlarına uygundur. Yani, bu test grubuna göre son on altı yılda pek fazla yaşlanmadığımı yaptırdığım birçok kan testi doğruluyor, ben de kendimi öyle hissediyorum.

Bu sonuçlar rastlantısal değil; bir süredir, biyokimyamı yeniden programlama konusunda oldukça agresifim. Günde 250 takviye (hap) alıyorum, her hafta yarım düzine damar içi uygulama görüyorum (temel olarak, besin takviyesi doğrudan kana karışıyor, dolayısıyla sindirim borumdan geçmiyor). Sonuç olarak bedenimdeki metabolik tepkiler başka koşullar altında olacağından tamamen farklı durumda.[16] Bunu bir mühendis olarak ele alıp, (vitaminler, mineraller, yağlar gibi) düzinelerle besinin, hormonların, kanımdaki metabolik yan ürünlerin ve (saç, tükürük gibi) vücuduma ait örneklerin değerlerini ölçüyorum. Değerlerim genel olarak istediğim düzeyde olsa da, Grossmann'la yürüttüğüm araştırmalara dayanarak programımı sürekli güncelliyorum.[17] Programım aşırı gibi görünebilir, ama aslında tutucu ve (şu andaki bilgilerime göre) en elverişli programdır. Grossmann'la birlikte, uyguladığım yüzlerce sağaltım yönteminin her birinin güvenlik ve etkinliğini kapsamlı olarak araştırdık. Henüz kanıtlanmamış ya da riskli gibi görünen (örneğin, insanlar için büyüme hormonu gibi) düşüncelerden uzak duruyorum.

Hastalıkların tehlikeli biçimde ilerlemesini tersine çevirme ve bunları alt etme sürecini bir savaş olarak görüyoruz. Her savaşta olduğu gibi, burada da yararlanılabilecek tüm zekâ ve silah kaynaklarını harekete geçirmek, elimizdeki her şeyi düşmanın üzerine atmak önemlidir. Bu nedenle, kalp hastalığı, kanser, şeker ve yaşlanma gibi, en önemli tehlikelere birkaç cepheden saldırılması gerektiğini düşünüyoruz. Örneğin, kalp hastalığını engellemek için stratejimiz, kalp hastalığının bilinen risk faktörlerinden her birine saldıran on ayrı sağaltım uygulanması.

---

tedir. Yazar bu teste Frontier Tıp Enstitüsünde (Grossman'ın sağlık ve uzun yaşam kliniği) girmiştir, http://www.FMIClinic.com. H–scan testi hakkında daha fazla bilgi için *bkz.* Tanı ve Laboratuvar Testleri, Uzun Yaşam Enstitüsü, Dallas, http://www.lidhealth. com/diagnostic.html.

16 Kurzweil ve Grossman, *Fantastic Voyage*, 10. bölüm: "Ray's Personal Program."

17 *Age.*

Her hastalık sürecine, her yaşlanma sürecine karşı birçok koldan ilerleyen stratejilerin benimsenmesiyle, benim gibi savaş sonrasındaki doğum patlaması dönemine ait kişilerin bile, bugün erken dönemlerini yaşayan ve bu yüzyılın ikinci on yılında doruğuna ulaşacak biyoteknoloji devriminin ("ikinci köprü" diye nitelediğimiz) tam olarak gelişmesine kadar sağlıklarını korumaları sağlanacaktır.

Biyoteknoloji, genlerinizi gerçekten değiştirebilmeniz için araçları sağlayacak: Yalnız teker teker tasarlanmış bebekler değil, tasarlanmış bebek patlamaları da mümkün olacaktır. Ayrıca, deri hücrelerinizi diğer hücre tiplerinin genç durumlarına dönüştürerek, vücudunuzun tüm dokuları ve organlarını da gençleştirebileceğiz. Geliştirilmekte olan ilaçlar tam kesinlikle, (kalp hastalığına neden olan) damar sertliği, kanserli tümörlerin oluşumu ve önemli hastalıkların her birinin ve yaşlanmanın temelinde yatan metabolik süreçlerdeki kilit adımları hedeflemektedir.

Gerçekten Sonsuza Kadar Yaşayabilir miyiz? Biyolojinin temelindeki bilgi süreçlerini değiştirerek yaşlanma sürecinin durdurulmasının etkin savunucularından biri, Cambridge Üniversitesi genetik bölümü uzmanlarından Aubrey de Grey'dir. Bu konuda geniş bilgi birikimi olan De Grey bunu bir evin bakımı eğretilemesiyle anlatır. Bir evin ömrü nedir? Sorunun yanıtı, kuşkusuz eve ne kadar iyi baktığınıza bağlı olarak değişir. Herhangi bir şey yapmazsanız, çok geçmeden çatıda akma başlar, evi su basar, ev giderek dökülmeğe başlar. Ama henüz sorun yaşamadan yapının bakımını yapar, bozulan yerleri onarır, tehlikeleri önceden görür ve belli bölümleri yeni malzeme ve teknolojiyle ara sıra yeniden yapar ya da yenilerseniz, evin ömrünü süresiz olarak uzatabilirsiniz.

Aynı yaklaşım vücut ve beyinlerimiz için de geçerlidir. Tek farkı, bir evin bakımı için gerekli yöntemleri tam olarak anlamışken, yaşamın biyolojik ilkelerinin tümünü henüz tam olarak anlamamış olmamızdır. Ancak biyokimyasal süreçleri ve biyolojinin yollarını giderek daha iyi kavradığımız için bu bilgiyi de hızla elde ediyoruz. Yaşlanmanın, önüne geçilemeyen tek bir gelişme değil, birbiriyle ilintili bir süreçler grubu olduğunu anlamaya başlıyo-

ruz. Bu yaşlanma süreçlerinin her birini tam tersine çevirmek için farklı biyoteknoloji yöntemleri birleştirilerek yeni stratejiler geliştiriliyor.

De Grey hedefini, "yaşlanma etkilerinin azaltılmasına yönelik mühendislik uygulamaları" olarak tanımlamaktadır (bedenin ve beynin yaşlanmasıyla ortaya çıkan zayıflamanın, hastalık eğilimlerinin durdurulması).[18] De Grey bunu şöyle açıklıyor: "*Yaşlanma etkilerinin azaltılması için gereken tüm temel mühendislik yöntemlerine* daha şimdiden sahibiz; yalnızca parçaların bir araya getirilmesi gerekiyor."[19] De Grey, on yıl içinde "kalıcı biçimde gençleşme" uygulamasını fareler üzerinde (sağaltım öncesine göre işlevsel olarak daha genç ve bu gençleşmeyi kanıtlar biçimde daha uzun ömürlü fareler) yapabileceğimize inanmakta, bu gelişmenin de kamuoyunda çarpıcı etkileri olacağına işaret etmektedir. Genlerinin yüzde 99'u bizimkilerle aynı olan bir hayvan üzerinde yaşlanmayı durdurabildiğimizin kanıtlanması, yaşlanma ve ölümün kaçınılmaz olduğu konusundaki yaygın görüşü zorlayacaktır. Gençleşmenin kalıcı biçimde mümkün olduğu bir hayvan üzerinde doğrulandığında, burada elde edilen sonuçların insanlara uygulanan sağaltım yöntemlerine aktarılması için beş on yıl sonra büyük rekabet baskısı oluşacaktır.

Büyük çeşitlilik içeren biyoteknoloji araştırmaları, biyolojimizin temelini oluşturan bilgi süreçleri üzerinde uygulanan ters mühendislik işlemlerinde giderek hızlanan ilerlemelerle ve bu süreçleri gerektiği biçimde değiştirebilen ve yine giderek zenginleşen bir araç cephaneliğiyle güçlenmektedir. Örneğin, bir zamanlar yeni ilaçların yapılabilmesi, aşırı yan etkilere neden olmadan iyi sonuçlar veren maddelerin bulunmasına bağlıydı. Bu süreç, ilk insanların yalnızca çevredeki taşların ve diğer doğal aletlerin

---

18 Aubrey D. N. J. de Grey, "The Foreseeability of Real Anti-Aging Medicine: Focusing the Debate," *Experimental Gerontology* 38.9 (Eylül 2003): 927–934; Aubrey D. N. J. de Grey, "An Engineer's Approach to the Development of Real Anti-Aging Medicine," *Science of Aging, Knowledge, Environment* 1 (2003); Aubrey D. N. J. de Grey vd, "Is Human Aging Still Mysterious Enough to Be Left Only to Scientists?" *BioEssays* 24.7 (Temmuz 2002): 667–676.

19 Aubrey D. N. J. de Grey, yay. haz., *Strategies for Engineered Negligible Senescence: Why Genuine Control of Aging May Be Foreseeable*, New York Bilimler Akademisi Kayıtları, cilt 1019 (New York: New York Academy of Sciences, Haziran 2004).

bulunmasıyla sınırlı olan araçlarını keşfetme süreçlerine benziyordu. Bugün ise hem hastalık sürecinin hem de yaşlanma sürecinin temelinde yatan biyokimyasal yolları tam olarak öğreniyor, görevlerini molekül düzeyinde doğru olarak yerine getiren ilaçlar üretebiliyoruz. Bu çabaların etki alanı ve ölçeği çok büyüktür.

Bir diğer güçlü yaklaşım da, işe biyolojinin bilgi omurgası olan genomla başlamaktır. Son zamanlarda geliştirilen gen teknolojileri sayesinde, genlerin kendilerini ifade biçimlerini denetleyebilmenin eşiğine geldik. Gen ekspresyonu, belirli hücre bileşenlerinin (özellikle RNA ve ribozomların) belirli bir genetik plana göre protein üretme süreçleridir. Her insan geninde vücuttaki genlerin tüm unsurları yer alırken, belirli bir hücre, örneğin deri hücresi ya da pankreasın islet hücresi, özelliklerini yalnızca o hücre tipine özel genetik bilginin çok küçük bir bölümünden alır.[20] Bu sürecin sağaltıcı denetimi, hücre çekirdeğinin dışında oluşabilmektedir, böylelikle çekirdeğin içine ulaşılmasını gerektiren sağaltım yöntemlerine göre daha kolay uygulanabilmektedir.

Gen ekspresyonu, peptitler (en çok yüz amino asitlik dizilerden oluşan moleküller) ile kısa RNA dizileri tarafından denetlenir. Artık bu süreçlerin nasıl çalıştığını öğrenmeye başlıyoruz.[21] Bugün

---

20 Farklı hücre tiplerinin işlevlerini sağlamanın yanı sıra hücrelerin gen ekspresyonunu denetlemelerinin diğer iki nedeni çevresel işaretler ve gelişim süreçleridir. Bakteri gibi basit organizmalar bile çevresel işaretlere bağlı olarak protein sentezini başlatıp bitirebilir. Örneğin Koli basili, çevresinde başka, daha az yoğunlukta enerji veren nitrojen kaynakları bulunduğunda havadan gelen nitrojen gazı düzeylerini denetlemesini sağlayan proteinlerin sentezini durdurabilir. Son zamanlarda 1800 çilek geni üzerinde yapılan bir araştırmada, bu genlerden 200'ünün ekspresyonunun farklı gelişim aşamalarında çeşitlilik gösterdiklerini ortaya koymuştur. E. Marshall, "An Array of Uses: Expression Patterns in Strawberries, Ebola, TB, and Mouse Cells," *Science* 286.5439 (1999): 445.

21 Genler, bir protein kodlama bölgesinin yanı sıra söz konusu gen ekspresyonunun nerede ve ne zaman olacağını denetleyen, tetikleyiciler ve geliştiriciler adı verilen düzenleyici dizileri de içerir. Protein kodlayan gen tetikleyicileri tipik olarak DNA'nın üzerinde, hemen "yukarı akış" kısmında bulunurlar. Bir geliştirici, tetikleyicinin kullanımını harekete geçirir, böylece gen ekspresyonunun hızını denetler. Çoğu gen kendini ifade edebilmek için geliştiriciler gereksinir. Geliştiriciler, "uzayda (hücre tipi) ve zamanda ayrımsal transkripsiyonun ana belirleyicisi" olarak nitelenmiştir; her genin ise kendisine bağlı birkaç farklı geliştirici konumu olabilir (S. F. Gilbert, Developmental Biology, 6. baskı [Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2000]; www.ncbi.nlm.nih.gov/books/bv.fcgi?call=bv.View.. ShowSection&rid=.0BpKYEB-SPfx18nm8Q OxH

geliştirilmekte ve denenmekte olan birçok yeni sağaltım yöntemi, ya hastalığa neden olan genlerin ifadesinin durdurulmasına ya da belli bir hücre tipinde, aksi durumda ifade edilmeyecek olan iyi genlerin devreye sokulması için bu süreçlerin yönetilmesine dayanmaktadır.

RNAi (RNA Engellemesi). RNA engellemesi (RNAi) adı verilen yeni bir güçlü yöntem, belirli genlerin haberci RNA'larını bloke ederek bu genleri durdurma, böylelikle de söz konusu genlerin protein yapmalarını engelleme yeteneğine sahiptir. Viral hastalıklar, kanser, diğer birçok hastalık, yaşam döngülerinin çok önemli bir noktasında gen ekspresyonu söz konusu olduğundan, bu yöntemde kullanılan araç teknolojik bir çığır vaat etmektedir. Araştırmacılar, hedeflenen bir genden kopyalanmış RNA parçalarıyla eşleşip, bu parçalara kilitlenen kısa, çift zincirli DNA segmentleri oluşturuyorlar. Bloke edilmiş protein oluşturma yetenekleriyle, gen etkin biçimde susturuluyor. Birçok genetik hastalıkta, söz konusu genin yalnızca bir kopyası kusurludur. Anne ve babadan birer olmak üzere her genden iki kopya aldığımıza göre, hastalığa neden olan genin bloke edilmesiyle, geriye gerekli proteini yapacak sağlıklı bir gen kalır. Eğer her iki gen de kusurluysa, RNA engellemesi her ikisini de susturabilir ama bu durumda buraya sağlıklı bir genin yerleştirilmesi gerekecektir.[22]

---

adresinden bulunabilir).
Geliştirici ya da tetikleyici bölgelere bağlanarak transkripsiyon etmenleri gen ekspresyonunu başlatır ya da baskılarlar. Transkripsiyon etmenleri hakkındaki yeni bilgiler gen ifadesi anlayışımızı değiştirmiştir. "The Genetic Core of Development: Differential Gene Expression" başlıklı bölümde yazdığı gibi Gilbert'e göre: "Artık genin kendisi, protein sentezini denetleyen bağımsız bir varlık olarak görülmemektedir. Yerine, gen hem protein sentezini yönlendirir hem de kendisi protein sentezi tarafından yönlendirilir. Natalie Anger (1992), 'Bir dizi keşif, DNA'nın daha çok, çevresi bedenin büyük tasarımı bir anlam kazanıncaya kadar onu güzelce sıvazlayıp, büküp, gerektiğinde de yeniden icat etmesi gereken bir protein kullanıcıları ve danışmanları sürüsüyle kuşatılmış olan belli bir politikacı tipi gibi olduğunu gösterir'."

22 Bob Holmes, "Gene Therapy May Switch Off Huntington's," 13 Mart 2003, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99993493. "Ters genetik çözümlemenin güçlü bir aracı olarak ortaya çıkan RNAi, insan hastalıklarıyla, özellikle onkojenez ve bulaşıcı hastalıklarla ilintili birçok genin işleyişinin incelenmesinde hızla uygulanmaktadır." J. C. Cheng, T. B. Moore ve K. M. Sakamoto, "RNA Interference and Human Disease," Molecular Genetics and Metabolism 80.1–2 (Ekim 2003): 121–128. RNAi, "etkili ve diziye özel bir

Hücre Terapileri. Diğer bir önemli saldırı hattı, kendi hücrelerimizin, dokularımızın, hatta bütün organlarımızın, üretilerek, bedenimize ameliyatsız yerleştirilmesidir. Böyle bir "sağaltıcı klonlama" yönteminin en büyük yararlarından biri, bu yeni doku ve organları, gelişmekte olan gençleşme tıbbı sayesinde gençleşecek hücrelerimizin örneklerinden üretebilecek olmamızdır. Örneğin, deri hücrelerinden yeni kalp hücreleri yapabilecek, bunları kan yoluyla yeni sisteme verebileceğiz. Bu yeni hücreler zaman içinde var olan kalp hücrelerinin yerini alacak, sonuçta bireyin kendi DNA'sının kullanılmasıyla üretilen yenilenmiş "genç" bir kalp ortaya çıkacaktır. Bedenlerimizin yeniden büyütülmesini hedefleyen bu yaklaşımı aşağıda irdeleyeceğim.

Gen Çipleri. Yeni sağaltım uygulamaları, gen ekspresyonu hakkında giderek büyüyen bilgi tabanımızın, sağlığımızı çarpıcı şekilde etkileyeceği, yalnızca tek yönlü bir yolda ilerlemektedir. 1990'lardan bu yana mikrodiziler ya da bir kuruşluk madeni paradan büyük olmayan çipler kullanılarak, aynı anda binlerce genin ifade örüntüleri incelenmekte ve kıyaslanmaktadır.[23] Teknolojinin olası uygulamalarının çeşitliliğinin, teknolojik kısıtlamaların giderek azaltılması sayesinde artık "Kendi Başına Gen İzleme"den elde edilen sonuçlarla büyük veritabanları oluşturulmaktadır.[24]

Bugün genetik profiller şu amaçlarla kullanılmaktadır:

- *İlaç tarama ve yeni ilaç bulma süreçlerini kökten değiştirmek.* Mikrodiziler, "yalnızca bir bileşimin eylem mekanizmasını doğrulamakla kalmaz, aynı metabolik yoldaki farklı adımlarda

---

mekanizmadır." L. Zhang, D. K. Fogg ve D. M. Waisman, "RNA Interference–Mediated Silencing of the S100A10 Gene Attenuates Plasmin Generation and Invasiveness of Colo 222 Colorectal Cancer Cells," Journal of Biological Chemistry 279.3 (16 Ocak 2004): 2053–2062.

23 Her çip belirli genleri tanımlayan dizileri kopyalayan sentetik oligonükleotitler içerir. "Bir örnekte hangi genlerin ifade edildiğini belirleyebilmek için araştırmacılar haberci RNA'yı test örneklerinden ayırarak tamamlayıcı DNA (cDNA)'ya dönüştürmekte, floresan boyayla işaretleyerek örneği silikon levhanın üzerinde yürütmektedir. İşaretli her cDNA, eşleşen bir dizilimle bir oligoya yapışarak levha üzerinde dizilimin bilindiği bir yerde bir noktayı parlatır. Ardından otomatik bir tarayıcı hangi oligoların bağlandığını, dolayısıyla hangi genlerin ifade edildiğini belirler...." E. Marshall, "Do-It-Yourself Gene Watching," Science 286.5439 (15 Ekim 1999): 444–447.

24 *Age.*

rol alan bileşimler arasında ayrım da yapabilirler."[25]

- *Kanser sınıflamalarını iyileştirmek. Science* dergisinde açıklanan bir araştırma, bazı lösemi türlerini sınıflamanın, "yalnızca gen ekspresyonu izlemesinde" mümkün olduğunu gösterdi. Makalenin yazarları, ifade profili oluşturmanın yanlış tanının düzeltilmesini sağladığı bir olguya da işaret ettiler.[26]
- *Yaşlanma ya da tümör oluşumu gibi bir süreçte yer alan gen, hücre ve yolları belirlemek.* Örneğin, akut miyeloblastik löseminin varlığını ve belli genlerde görülen ifade artışını programlanmış hücre ölümüyle ilişkilendiren bir çalışma, yeni sağaltım hedeflerinin belirlenmesini sağladı.[27]
- *Yenilikçi bir sağaltımın etkinliğini belirlemek.* Yakın zamanda *Bone* dergisinde açıklanan bir araştırmada, eksik büyüme hormonunun yerine yenisinin konduğunda, bunun insülin benzeri büyüme faktörlerinin (IGF'ler) ifadesine ve kemik metabolizma belirteçlerine etkileri incelendi.[28]

---

25 J. Rosamond ve A. Allsop, "Harnessing the Power of the Genome in the Search for New Antibiotics," Science 287.5460 (17 Mart 2000): 1973–1976.

26 T. R. Golub vd, "Molecular Classification of Cancer: Class Discovery and Class Prediction by Gene Expression Monitoring," Science 286.5439 (15 Ekim 1999): 531–537.

27 *Age.*, A. Berns, "Cancer: Gene Expression in Diagnosis," Nature 403 (3 Şubat 2000): 491–492 içinde bildirilmektedir. Bir başka araştırmada, incelenen genlerin yüzde 1'i yaşlanmış kaslarda düşük ekspresyon göstermiştir. Bu genler enerji üretimi ve hücre yapımıyla ilişkili proteinleri üretmişlerdir; bu nedenle yaşa bağlı zayıflama göz önüne alındığında azalmanın bir anlamı vardır. Artan ekspresyon gösteren genler, hasarlı DNA'ların ya da proteinlerin onarımında kullanılan stres proteinini üretmişler. J. Marx, "Chipping Away at the Causes of Aging," Science 287.5462 (31 Mart 2000): 2390.

Bir başka örnek, karaciğer metastasları, kolorektal kanserinin ortak nedenidir. Bu metastaslar, genetik profillerine bağlı olarak tedavilere farklı tepki verirler. Ekspresyon profilinin belirlenmesi uygun tedavi yönteminin belirlenmesinin mükemmel yoludur. J. C. Sung vd, "Genetic Heterogeneity of Colorectal Cancer Liver Metastases," Journal of Surgical Research 114.2 (Ekim 2003): 251.

Son bir örnek olarak, hastalıklı dokuda son derece ender olması nedeniyle araştırmacılar Hodgkin hastalığının Reed–Sternberg hücrelerinin analizinde güçlük çekmişlerdir. Ekspresyon profili artık bu hücrenin kalıtımıyla ilgili ipuçları sağlamaktadır. J. Cossman vd, "Reed–Sternberg Cell Genome Expression Supports a B-Cell Lineage," Blood 94.2 (15 Temmuz 1999): 411–416.

28 T. Ueland vd, "Growth Hormone Substitution Increases Gene Expression of Members of the IGF Family in Cortical Bone from Women with Adult Onset Growth Hormone Deficiency— Relationship with Bone Turn-Over," Bone 33.4 (Ekim 2003): 638–645.

- *Besin katkı maddeleri, kozmetik ve endüstriyel ürün bileşimlerindeki toksik maddeleri hızlı biçimde ve hayvanlarda kullanmadan test etmek.* Bu tür testler, örneğin, her genin test edilen bir madde tarafından ne derece tetiklendiğini ya da durdurulduğunu gösterebilmektedir.[29]

Somatik Gen Terapisi (Üremeyen Hücreler İçin Gen Terapisi). Biyomühendisliğin kutsal kâsesi olan bu yöntem, hücre çekirdeğine yeni DNA "bulaştırıp," temelde yeni genler oluşturma yoluyla genleri doğrudan değiştirmemizi sağlayacaktır.[30] İnsanların genetik yapısının denetlenmesi kavramı sıklıkla, "tasarım ürünü bebekler" yöntemiyle gelecek kuşakları etkileme düşüncesiyle bağdaştırılmaktadır. Ancak gen terapisinin asıl vaadi, biz yetişkinlerin genlerinin değiştirilmesidir.[31] Bunlar istenmeyen, hastalıkları kışkırtan genleri bloke etmek ya da yaşlanma sürecini yavaşlatan, hatta gerileten yeni genleri devreye sokmak için tasarlanabilir.

1970 ve 1980'lerde hayvanlar üzerinde yapılmaya başlayan araştırmalar, büyükbaş hayvanlar, tavuk, tavşan ve denizkestane-

---

29 R. Lovett, "Toxicologists Brace for Genomics Revolution," Science 289.5479 (28 Temmuz 2000): 536–537.

30 Somatik hücrelere gen aktarımı bedendeki hücrelerden bir alt kümeyi bir süreliğine etkiler. Kuramsal olarak yumurta ve sperm hücrelerindeki (mikrop hattı) genetik bilgiyi de değiştirmek, bu değişiklikleri sonraki kuşaklara aktarmak mümkündür. Bu tür tedaviler çeşitli etik kaygıları gündeme getirmektedir, henüz denenmemiştir. "Gen Terapisi," Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Gene_therapy.

31 Genler, insan bedeninde yaşamsal işlevler yürüten proteinleri kodlar. Anormal ya da değişinime uğramış genler bu işlevleri yürütebilecek durumda olmayan proteinler kodlar, bu da genetik bozukluk ve hastalıkları doğurur. Gen terapisinin hedefi, bozuk genlerin değiştirilerek normal proteinlerin oluşumunu sağlamaktır. Bu, birkaç yolla yapılabilmekle birlikte en tipik yöntem, vektör adı verilen bir taşıyıcı molekül kullanarak hastanın hedef hücrelerinin yerine sağaltıcı hücreler yerleştirilmesidir. "Şu anda en yaygın vektör, normal insan DNA'sını taşımak üzere genetiği değiştirilmiş bir virüstür. Virüsler, genlerini içerip, insan hücrelerine patojenik bir biçimde aktarmanın yöntemini geliştirmişlerdir. Bilim insanları bu yetenekten yararlanıp, virüs genomunu kullanarak hastalık yapan genleri çıkarıp sağaltıcı genler yerleştirmeğe çalışmışlardır" (İnsan genomu Projesi, "Gen Terapisi," http:// www.ornl.gov/TechResources/Human_Genome/medicine/gene therapy.html). Gen terapisi hakkında daha fazla bilgi için *bkz.* İnsan Genomu Projesinin sitesi ve bağlantıları. Gen terapisi, şu anda var olan altı bilimsel hakemli gen terapisi dergisi ile dört meslek derneğinin bu alana odaklanacağı kadar önemli bir araştırma alanıdır.

si gibi çeşitli transjenik hayvanların üretilmesini sağladı. İnsan geni terapisindeki ilk denemelerse 1990'da yapıldı. Başarılması gereken, hedef hücrelere sağaltıcı DNA aktararak, hedef hücrelerin doğru düzeyde ve doğru zamanda ifadesini sağlamaktır.

Bir gen aktarımının gerçekleştirilmesinde aşılması gereken zorlukları düşünün. Seçilen taşıt, çoğunlukla virüslerdir. Virüsler, genetik malzemelerini insan hücrelerine nasıl taşıyacaklarını ve sonuçta nasıl hastalık oluşturacaklarını uzun zaman önce öğrendiler. Araştırmacılar bugün yalnızca virüsün genlerini alıp bunların yerine sağaltıcı genler koyarak, virüsün boşalttığı malzemeyi değiştirmektedirler. Yöntemin kendisi görece kolay olsa da, genler birçok hücre tipine (örneğin beyin hücreleri) sığamayacak kadar büyüktür. Taşıyabileceği DNA uzunluğu da sınırlı olan süreç, bağışıklık tepkisine neden olabilir. Yeni DNA'nın hücre DNA'sıyla tam olarak nerede birleştiği, büyük ölçüde kontrol edilemeyen bir süreçtir.[32]

DNA'nın hücrelere fiziksel enjeksiyonu (mikroenjeksiyon) mümkün, ama uygulanamayacak kadar pahalıdır. Son zamanlarda heyecan verici gelişmeler elde edilmiştir; ancak bu gelişmeler diğer aktarım yöntemleriyle ilgilidir. Örneğin, lipozomlar –sulu bir çekirdeği olan yağ küreleri– "moleküler Truva atı" olarak kullanılarak beyin hücrelerine gen gönderilebilir, böylelikle Parkinson ve sara gibi hastalıkların sağaltımına giden kapılar açılabilir.[33] Hücrelere çeşitli moleküllerin (ilaç proteinleri, RNA ve DNA dahil) gönderiminde elektrik atımları da kullanılabilir.[34] Bir başka seçenek de maksimum etkiyi elde edebilmek için DNA'yı çok küçük "nanotoplar" halinde paketlemektir.[35]

İnsanlarda gen terapisini başarmak için aşılması gereken en büyük engel, genin bir DNA zinciri üzerindeki doğru yerleştiriminin ve gen ekspresyonunun izlenmesidir. Olası bir çözüm, sa-

---

32 K. R. Smith, "Gene Transfer in Higher Animals: Theoretical Considerations and Key Concepts," *Journal of Biotechnology* 99.1 (9 Ekim 2002): 1–22.

33 Anil Ananthaswamy, "Undercover Genes Slip into the Brain," 20 Mart 2003, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99993520.

34 A. E. Trezise vd, "In Vivo Gene Expression: DNA Electrotransfer," *Current Opinion in Molecular Therapeutics* 5.4 (Ağustos 2003): 397–404.

35 Sylvia Westphal, "DNA Nanoballs Boost Gene Therapy," 12 Mayıs 2002, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99992257.

ğaltıcı genle birlikte görüntüleme için bir muhabir geninin gönderilmesidir. Görüntü sinyalleri, hem yerleşimin hem de ifade düzeyinin yakından denetlenmesini sağlayacaktır.[36]

Önünde böylesi engeller olsa da, gen terapisi insan uygulamalarında sonuç vermeye başlamaktadır. Glasgow Üniversitesinin araştırma doktorlarından Andrew H. Baker'in önderliğini yaptığı bir ekip edanovirüsleri kullanarak, belirli organları, hatta organların belirli bölgelerini "enfekte" etmeyi başardılar. Ekip, örneğin gen terapisini kan damarlarının içini kaplayan endotelyal hücrelere tam kesinlikle yöneltebildi. Bir başka yöntem de (insan genomunun transkripsiyonuna yönelik özel girişimin lideri olan) Craig Venter tarafından kurulan Celera Genomics tarafından geliştirilmekte. Celera, genetik bilgiden sentetik virüsler üretme yeteneğini başardı; bu biyotasarım ürünü virüsleri de gen terapisinde kullanmayı planlıyor.[37]

Yönetimine katkıda bulunduğum şirketlerden biri olan United Therapeutics, yeni ve şirketin özkaynaklarıyla geliştirilen bir yöntemle, hastadan alınan birkaç tüp kandaki kök hücrelerden elde edilen DNA'yı hücrelere gönderme denemelerini insanlar üzerinde başlattı. Yeni pulmoner (akciğer) kan damarlarının gelişimini yöneten DNA, kök hücre genlerine verilmekte, sonra bu hücreler hastaya yeniden enjekte edilmektedir. Genetik olarak işlenmiş kök hücreler, akciğer peteklerinin yakınındaki küçük pulmoner kan damarlarına ulaştıklarında, yeni kan damarları için büyüme faktörlerinin ifadesine başlarlar. Bu yöntem, hayvanlar üzerinde yapılan uygulamalarda, ölümcül ve bugün için sağaltımı mümkün olmayan bir hastalık olan pulmoner hipertansiyonu güvenli bir biçimde geriletmiştir. Kanada hükümeti, bu çalışmaların başarısına ve güvenilirliğine dayanarak insan üzerinde yapılacak testlerin 2005 yılının ilk aylarında başlatılmasının iznini vermiştir.

---

36 L. Wu, M. Johnson ve M. Sato, "Transcriptionally Targeted Gene Therapy to Detect and Treat Cancer," *Trends in Molecular Medicine* 9.10 (Ekim 2003): 421–429.

37 S. Westphal, "Virus Synthesized in a Fortnight," 14 Kasım 2003, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99994383.

Dejeneratif Hastalıkların Tersine Çevrilmesi

Dejeneratif (ilerleyici) hastalıklar –kalp hastalığı, inme, kanser, tip 2 şeker hastalığı, karaciğer hastalığı ve böbrek hastalığı– toplumumuzdaki ölümlerin yaklaşık yüzde 90'ının nedenidir. Dejeneratif hastalıkların ve insanda yaşlanmanın temel bileşenleri hakkındaki bilgimiz hızla artmakta ve bu süreçlerin her birini durduracak, hatta tersine çevirecek yöntemler de tanımlanmaktadır. *Fantastic Voyage*'da [*Fantastik Yolculuk*] Grossmann'la birlikte, şu anda test aşamasında olup, bu tür hastalıkların ilerlemesinin temelinde yatan kilit biyokimyasal adımları hedef almada önemli sonuçlar veren çeşitli sağaltım yöntemlerini anlattık.

Kalp Hastalığıyla Mücadele

Birçok örnekten biri, Yüksek Dansiteli Lipoprotein Kolesterolün (HDL) sentetik bir formu olan rekombinant Apo A–I Milano (AAIM) ile yürütülen heyecan verici araştırmadır. Hayvanlar üzerinde yapılan denemelerde AAIM, ateroskleroz plakta hızlı ve belirgin ölçekte gerilemeye neden oldu.[38] Amerikan Gıda ve İlaç Kurumunun birinci evre denemesinde, kırk yedi insan denek üzerinde damar içi aşılama yoluyla uygulanan AAIM, haftada bir olmak üzere yalnızca beş kürlük sağaltım sonucunda, plakta büyük ölçüde azalma (ortalama yüzde 4,2'lik azalma) sağladı. Başka hiçbir ilaç, aterosklerozu bu kadar hızlı azaltma yeteneği göstermemiştir.[39]

Aterosklerozun tersine çevrilmesi için heyecan verici bir diğer ilaç, Pfizer'in, Amerikan Gıda ve İlaç Kurumunun üçüncü evre denemesinde olan Torcetrapib adlı ilacıdır.[40] Bu ilaç, normalde

38 G. Chiesa, "Recombinant Apolipoprotein A–I(Milano) Infusion into Rabbit Carotid Artery Rapidly Removes Lipid from Fatty Streaks," *Circulation Research* 90.9 (17 Mayıs 2002): 974–980; P. K. Shah vd, "High–Dose Recombinant Apolipoprotein A–I(Milano) Mobilizes Tissue Cholesterol and Rapidly Reduces Plaque Lipid and Macrophage Content in Apolipoprotein e–Deficient Mice," *Circulation* 103.25 (26 Haziran 2001): 3047–3050.

39 S. E. Nissen vd, "Effect of Recombinant Apo A–I Milano on Coronary Atherosclerosis in Patients with Acute Coronary Syndromes: A Randomized Controlled Trial," *JAMA* 290.17 (5 Kasım 2003): 2292–2300.

40 Son zamanlarda yapılan bir faz 2 araştırması, "HDL kolesterol düzeylerinde belirgin artış, ayrıca LDL kolesterol düzeylerinde düşüş" bildirmiştir. M. E. Brousseau vd, "Effects of an Inhibitor of Cholesteryl Ester Transfer Protein on HDL Cholesterol," *New England Journal of Medicine* 350.15 (8 Nisan 2004):

parçalaması gereken bir enzimi bloke ederek HDL düzeylerini artırmakta. Pfizer, bu ilacın testleri için bir milyon dolarlık rekor düzeyde bir bütçe harcamakta ve bu ilacı, en çok satan "statin" (kolesterol düşürücü) ilacı olan Lipitor ile birleştirmeyi planlamaktadır.

Kanserin Yenilmesi. Kansere çare bulmak için yoğun biçimde birçok yöntem denenmektedir. Bağışıklık sistemini uyararak kanser hücrelerine saldırmasını sağlayan kanser aşıları özellikle umut vericidir. Bu aşılar kanserin önlenmesi amacıyla, hastalıktan korunma yönteminde ilk seçenek olarak ya da diğer sağaltım uygulamalarından sonra kanser hücrelerini temizlemek için kullanılabilmektedir.[41]

Bir hastanın bağışıklık tepkisini etkinleştirmeye yönelik olarak bildirilen ilk çabalar yüz yıldan uzun bir süre öncesine dayanmaktadır, ama çok az başarı elde edilmiştir.[42] Daha yakın dönemlerdeki çabalar, bağışıklık sisteminin sentinelleri olan dendrit hücrelerinin, normal bir bağışıklık tepkisini tetiklemek üzere teşvik edilmesine odaklanmıştır. Kanserin birçok biçimi bu tepkiyi tetiklemediği için çoğalma fırsatı bulur. Dendrit hücreleri bedende dolaşıp yabancı peptitleri ve hücre parçalarını toplar ve bunları, işaretli peptitleri yok etmek için silahlanan bir T hücreleri ordusu üretmek üzere lenf bezlerine göndererek kilit bir rol üstlenirler.

Bazı araştırmacılar, uyarılan T hücrelerinin sonradan karşılaştıkları diğer kanser hücrelerini tanıyacakları varsayımıyla, T hücrelerini çekmek için kanser hücreleri genlerini değiştiriyorlar.[43] Diğerleri, dendrit hücrelerini, kanserli hücrelerin yü-

---

1505–1515, http://content.nejm.org/cgi/content/ abstract/350/15/1505. Küresel faz 3 denemeleri 2003'ün sonlarında başlamıştır. Torcetrapib hakkında bilgi Pfizer'in sitesinde verilmektedir: http://www.pfizer.com/are/investors_reports/annual_2003/review/p2003ar14_15.htm.

41 O. J. Finn, "Cancer Vaccines: Between the Idea and the Reality," *Nature Reviews: Immunology* 3.8 (Ağustos 2003): 630–641; R. C. Kennedy ve M. H. Shearer, "A Role for Antibodies in Tumor Immunity," *International Reviews of Immunology* 22.2 (Mart–Nisan 2003): 141–172.

42 T. F. Greten ve E. M. Jaffee, "Cancer Vaccines," *Journal of Clinical Oncology* 17.3 (Mart 1999): 1047–1060.

43 "Cancer 'Vaccine' Results Encouraging," *BBCNews*, 8 Ocak 2001, http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/1102618.stm, araştırmanın haberi: E. M. Jaffee vd, "Novel Allogeneic Granulocyte–Macrophage Colony–Stimulating Factor–Secreting Tumor Vaccine for Pancreatic Cancer: A Phase I Trial of Safety and Immune Activation," *Journal of Clinical Oncology* 19.1 (1 Ocak 2001): 145–156.

zeylerinde görülen özel bir tür protein olan antijenlerin etkisine açacak aşılarla deneyler yürütüyorlar. Bir grup da tümör ile bağışıklık hücrelerini kaynaştırarak "bireyselleştirilmiş aşı" yapmak için elektrik atımları kullandı.[44] Etkili aşılar geliştirilmesinin önündeki engellerden biri, doğrudan hedefe odaklanan aşılar üretmemiz için gereken kanser antijenlerini henüz belirleyememiş olmamızdır.[45]

Anjiyogenezin (yeni kan damarlarının oluşumunun) bloke edilmesi ise bir diğer yöntemdir. Bu işlemde, ortaya çıkan kanserin küçük boyutunun ötesine geçebilmek için gerek duyduğu kan damarlarının gelişimini engelleyen ilaçlar kullanılmaktadır. Boston'daki Dana Farber Kanser Merkezinin doktorlarının, bir anjiyogenez engelleyici (inhibitörü) olan endostatinin yinelenen döngülerinin, tümörlerin tamamen gerilemesini sağladığını bildirmeleriyle, anjiyogeneze olan ilgide 1997'den itibaren patlama yaşandı.[46] Bugün, avastin ve atrasentan dahil birçok antianjiyogenik ilaç klinik deneylerde kullanılmaktadır.[47]

Kanserin olduğu gibi yaşlanmanın da kilit konularından biri, kromozomların uç kısmında yer alan ve yinelenen DNA dizileri olan telomer "boncuklarıdır." Her hücre çoğalmasında bir boncuk düşer. Bütün telomer boncukları tükenene kadar çoğaldıktan sonra bir hücre artık bölünemez olup, ölür. Bu süreci tersine çevirebilseydik, hücreler sonsuza kadar yaşayabilirlerdi. Neyse ki son dönemde yapılan araştırmalar bunu başarmak için yalnızca tek

---

44 John Travis, "Fused Cells Hold Promise of Cancer Vaccines," 4 Mart 2000, http://www.sciencenews.org/articles/20000304/fob3.asp, içinde atıf D. W. Kufe, "Smallpox, Polio and Now a Cancer Vaccine?" *Nature Medicine* 6 (Mart 2000): 252–253.

45 J. D. Lewis, B. D. Reilly ve R. K. Bright, "Tumor-Associated Antigens: From Discovery to Immunity," *International Reviews of Immunology* 22.2 (Mart–Nisan 2003): 81–112.

46 T. Boehm vd, "Antiangiogenic Therapy of Experimental Cancer Does Not Induce Acquired Drug Resistance," *Nature* 390.6658 (27 Kasım 1997): 404–407.

47 Anjiyogenez Vakfı, "Understanding Angiogenesis," http://www.angio.org/understanding/content_understanding.html; L. K. Lassiter ve M. A. Carducci, "Endothelin Receptor Antagonists in the Treatment of Prostate Cancer," *Seminars in Oncology* 30.5 (Ekim 2003): 678–688. Sürecin açıklaması için *bkz.* Ulusal Kanser Enstitüsü web sitesi "Understanding Angiogenesis," http://press2.nci.nih.gov/sciencebehind/angiogenesis/angio02.htm.

bir enzimin (telomeraz) gerektiğini ortaya du.[48] İşin hassas yanı, telomerazı kanser yapmayacak biçimde yönetebilmektir. Kanser hücreleri, telomeraz üreten ve hücrelerin sonsuza kadar çoğalarak ölümsüzleşmesini sağlayan bir gen taşırlar. Bu nedenle en önemli kanserle savaş yöntemlerinden biri, kanserli hücrelerin telomeraz üretme yeteneklerinin bloke edilmesidir. Bu, yaşlanmanın bu kaynağıyla savaşım için normal hücrelerde telomerlerin uzatılması düşüncesiyle çelişir gibi görünebilir, ancak gelişmekte olan bir tümördeki kanserli hücrenin telomerazına saldırmak, normal hücrelere yönelik düzenli bir telomer uzatma sağaltımını tehlikeye atmadan da yapılabilir. Bununla birlikte, komplikasyonlardan kaçınmak için kanser sağaltımı süresince bu tür uygulamalar durdurulabilir.

Yaşlanmanın Tersine Çevrilmesi

Türümüzün (ve türümüzün öncellerinin) geçirdiği evrimin erken dönemlerinde, yaşamın sürdürülmesi sürecinin çocuk yetiştirme yaşını çoktan geçmiş bireylerce desteklenmediğini, bu şekilde aslında tehlikeye atıldığını, varsaymak mantıklıdır. Ancak son zamanlarda yapılan araştırmalar, büyükanne hipotezi olarak adlandırılan ve bir ters etkiyi akla getiren düşünceyi desteklemektedir. Michigan Üniversitesi antropologlarından Rachel Caspari ve Riverside'daki California Üniversitesinden San–Han Lee, büyükanne ya da büyükbaba yaşına kadar (bu da ilkel toplumlarda otuz gibi, günümüze göre genç bir yaştı) yaşayabilen insanların oranının son iki milyon yılda düzenli, Yukarı Paleolitik dönemde de (yaklaşık otuz bin yıl önce) beş kat artmış olduğunun kanıtlarını buldular. Bu araştırma, büyükannelerin yalnızca geniş ailelerin kurulmasına yardımcı olmakla kalmayıp, büyüklerin akıl birikimini sonraki kuşaklara aktararak, insan toplumlarının yaşamda kalmasını sağladıkları varsayımını desteklemek amacıyla alıntılanmıştır. Bu tür sonuçlar, verilerin akılcı bir yorumu olabi-

48 I. B. Roninson, "Tumor Cell Senescence in *Cancer Treatment*," Cancer Research 63.11 (1 Haziran 2003): 2705–2715; B. R. Davies vd, "Immortalization of Human Ovarian Surface Epithelium with Telomerase and Temperature–Sensitive SV40 Large T Antigen," *Experimental Cell Research* 288.2 (15 Ağustos 2003): 390–402.

lir ama yaşam süresinin uzamasındaki genel artış, bugün de var olan daha uzun yaşam süresine doğru bir eğilimi yansıtmaktadır. Benzer biçimde, bu kuramı ortaya atanların savundukları toplumsal etkileri yaratmak için yalnızca birkaç büyükanne (ve birkaç büyükbaba) gerekirdi; yani varsayım, evrimin, yaşam süresinin belirgin ölçüde uzamasını sağlayan genleri seçmediği sonucuna karşı gelmez.

Yaşlanma tek bir süreç değildir, çeşitli değişimleri kapsar. De Grey, yaşlanmayı teşvik eden yedi ana yaşlanma sürecini açıklamakta ve bunların her birini tersine çevirecek yöntemleri tanımlamaktadır.

DNA Değişinimleri.[49] Çekirdek DNA'sında (çekirdekteki kromozomlarda bulunan DNA) oluşan değişinimler genelde çabucak yok edilen kusurlu bir hücrenin ya da ideal biçimde çalışmayan bir hücrenin oluşmasına neden olur. Ölüm oranlarının artmasına neden olduğu için temel sorun olan değişinim tipi, düzenli hücre çoğalmasını etkileyerek kansere neden olan bir tiptir. Bu, yukarıda betimlenen yöntemlerle kanseri sağaltabilmemiz, çekirdekte oluşan değişinimleri de büyük ölçüde zararsız duruma getirilebileceğimiz demektir. De Grey'in kanser için öne sürdüğü yöntem önleyicidir: Bölündükleri sırada telomerlerini koruyabilmek için kanser hücrelerinin devreye sokmaları gereken genleri tüm hücrelerimizden çıkarıp atmak amacıyla uygulanan gen terapisini kullanmaktadır. Bu, tüm potansiyel kanser hücrelerinin zararlı olacak kadar büyüyemeden yok olmalarına neden olacaktır. Genleri yok etme ve bastırma yöntemleri şu anda mevcuttur, hızla geliştirilmektedir.

Toksik Hücreler. Hücreler zaman zaman kanser oluşturmadıkları bir duruma gelirler ama bu hücrelerin yaşamda kalmamaları yine de vücut için en iyisi olacaktır. Hücre yaşlanması gibi, çok fazla yağ hücresine sahip olmak da buna örnektir. Böyle durumlarda bu hücreleri öldürmek, onları sağlıklı hale getirmeye çalışmak-

49 *Ayrıca bkz.* R. C. Woodruff ve J. N. Thompson Jr., "The Role of Somatic and Germline Mutations in Aging and a Mutation Interaction Model of Aging," *Journal of Anti-Aging Medicine* 6.1 (İlkbahar 2003): 29-39. *Ayrıca bkz.* 18. ve 19. notlar.

tan daha kolaydır. Bu tür hücreleri hedef alan "intihar genleri" üretmek ve ayrıca bu hücreleri bağışıklık sisteminin onları yok etmeğe yönlendirecek biçimde işaretlenmesinin yöntemleri geliştirilmektedir.

Mitokondriyal Değişinim. Bir diğer yaşlanma süreci, hücrenin enerji fabrikaları olan mitokondrilerde yer alan on üç gendeki değişinimlerin birikimidir.[50] Az sayıdaki bu genler, hücrelerimizin verimli çalışmasında kritik öneme sahiptir ve çekirdekteki genlerden daha büyük bir hızla değişinim geçirirler. Somatik gen terapisinde yetkinleştiğimizde, bu genlerin birçok kopyasını hücre çekirdeğine yerleştirebilir, böylelikle yaşamsal genetik bilgi için artıklık (yedekleme) sağlayabiliriz. Çekirdek koduna sahip proteinlerin mitokondrilere gönderilmesini sağlayan mekanizma hücrede zaten vardır; yani bu proteinlerin doğrudan mitokondrilerin içinde üretilmeleri gerekli değildir. Gerçekte, mitokondrilerin çalışması için gereken proteinlerin çoğu, çekirdek DNA'sı tarafından zaten kodlanmıştır. Araştırmacılar mitokondriyal genlerin hücre kültürlerindeki çekirdeğe aktarımında çoktan başarı gösterdiler.

Hücre İçi Kümelenmeler. Toksinler hem hücre içinde hem de hücre dışında üretilir. De Grey, "hücre içi kümelenmeler" adını verdiği hücre toksinlerini parçalayacak yeni genler oluşturmak için somatik gen terapisini kullanan yöntemler tanımlamaktadır. TNT'den dioksine kadar birçok tehlikeli maddeyi sindirip yok edebilen bakteriler kullanılarak, hemen hemen her tür toksini yok edebilecek proteinler saptanmıştır.

Hatalı oluşmuş proteinler ve (Alzheimer hastalığı ve diğer dejeneratif rahatsızlıklarda görülen) amiloid plak dahil hücre dışı toksik maddelerle savaşım için çeşitli araştırma gruplarının üzerinde çalıştıkları bir anahtar yöntem, kendi bileşen moleküllerine

---

50 Aubrey D. N. J. de Grey, "The Reductive Hotspot Hypothesis of Mammalian Aging: Membrane Metabolism Magnifies Mutant Mitochondrial Mischief," *European Journal of Biochemistry* 269.8 (Nisan 2002): 2003–2009; P. F. Chinnery vd, "Accumulation of Mitochondrial DNA Mutations in Ageing, Cancer, and Mitochondrial Disease: Is There a Common Mechanism?" *Lancet* 360.9342 (26 Ekim 2002): 1323–1325; A. D. de Grey, "Mitochondrial Gene Therapy: An Arena for the Biomedical Use of Inteins," *Trends in Biotechnology* 18.9 (Eylül 2000): 394–399.

karşı hareket eden aşılar üretmektir.[51] Bu yaklaşım toksik maddenin bağışıklık sisteminin hücreleri tarafından yutulmasıyla sonuçlanabilse de yukarıda söz ettiğimiz hücre içi kümelenmelerle savaşım yöntemlerini kullanarak bu yöntemi temizleyebiliriz.

Hücre Dışı Kümelenmeler. Şeker fazlalığının yan etkilerinden biri olarak, yararlı moleküllerin istenmeyen biçimde çapraz bağlanması sonucunda AGE'ler (ileri glikasyon son ürünleri) oluşur. Bu çapraz bağlar proteinlerin normal çalışmasına müdahale ederek, yaşlanma sürecine önemli katkıda bulunurlar. ALT-711 (fenasildimentiltiazolyum klorür) adı verilen deneysel bir ilaç, orijinal dokuya zarar vermeden bu çapraz bağları eritebilmektedir.[52] Bu yeteneğe sahip başka moleküller de saptanmıştır.

Hücre Kaybı ve Atrofi. Vücudumuzdaki dokular, aşınmış hücrelerin yerine yenilerini koyacak yöntemlere sahiptir, fakat bu yetenek belli organlarla sınırlıdır. Örneğin, biz yaşlanırken kalbimiz hücrelerini yeterli hızla yenileyemez. Kalbimiz bu durumu ipliksi madde kullanımıyla canlı hücrelerini büyüterek karşılar. Bu, kalbin esnekliğinin ve tepki yeteneğinin zaman içinde azalmasına neden olur. Burada temel bir yöntem, kendi hücrelerimizin aşağıda anlatıldığı biçimde, sağaltım amaçlı klonlanmasıdır.

Yaşlanma kaynaklarıyla tüm bu savaşımın hayvanlar üzerinde uygulanan modelleri ilerleme kaydetmekte. Bu yöntemlerin insan

---

51 Bireylerin, Alzheimer hastalığı gibi nörodejeneratif hastalıklara karşı 'aşılanması' düşüncesi, mekanizmalar ve tedavilerde klasik düşünce biçiminin terk edilmesinin işaretidir; şimdiye kadar hem Alzheimer hastalığı hem de multipl skleroz tedavilerinin aşıları hayvan modellerinde doğrulanıp, kliniklere girmiştir. Ancak bu tür yöntemler yararlarının yanı sıra istenmeyen yangılı tepkilere neden olma potansiyeline de sahiptir" (H. L. Weiner ve D. J. Selkoe, "Inflammation and Therapeutic Vaccination in CNS Diseases," *Nature* 420.6917 [19–26 Aralık 2002]: 879–884). Bu araştırmacılar, burun damlası şeklinde kullanılan aşının Alzheimer hastalığının beyinde neden olduğu bozulmayı yavaşlatabileceğini göstermişlerdir. H. L. Weiner vd, "Nasal Administration of Amyloid-beta Peptide Decreases Cerebral Amyloid Burden in a Mouse Model of Alzheimer's Disease," *Annals of Neurology* 48.4 (Ekim 2000): 567–579.

52 S. Vasan, P. Foiles, H. Founds, "Therapeutic Potential of Breakers of Advanced Glycation End Product-Protein Crosslinks," *Archives of Biochemistry and Biophysics* 419.1 (1 Kasım 2003): 89–96; D. A. Kass, "Getting Better Without AGE: New Insights into the Diabetic Heart," Circulation Research 92.7 (18 Nisan 2003): 704–706.

sağaltım uygulamalarına aktarımı da başlayacaktır. Genom projesinden elde edilen bulgular, yaşlanma sürecinde en fazla birkaç yüz genin rol oynadığını göstermektedir. Bu genlerin yönlendirilmesi sonucunda, daha basit hayvanların yaşam sürelerinin uzatılmasında önemli başarı elde edilmiştir. Örneğin, *C. Elegans* solucanının insülin ve cinsiyet hormonu düzeylerini denetleyen genleri değiştirerek deney hayvanlarının yaşam süreleri altı katına çıkarılmış, yani bir insanın yaşam süresinin beş yüz katının eşdeğerine uzatılmıştır.[53]

Hem biyoteknolojiyi hem de nano teknolojiyi kullanan melez bir senaryoda, biyolojik hücrelerin bilgisayara dönüştürülmesi tasarlanmaktadır. O zaman bu "gelişmiş zekâ" hücreleri kanser hücreleriyle patojenleri saptayıp yok edebilecek, hatta insan bedeninin parçalarını yeniden üretebilecektir. Princeton'dan kimyager Ron Weiss, hücreleri, temel bilgi işlemde kullanılan çeşitli mantık işlevlerini içerecek biçimde değiştirdi.[54] Boston Üniversitesinden Timothy Gardner, hücreleri bilgisayara dönüştürmenin bir diğer temel yapı taşı olan hücresel mantık anahtarını geliştirdi.[55] Massachusetts Teknoloji Enstitüsünün Medya Laboratuvarında çalışan araştırmacılar, değiştirilmiş hücrelerin içinde bulunan bilgisayarlara, kablosuz iletişim kullanarak ileti göndermenin yollarını geliştirdiler.[56] Weiss bunu, "Bir kez hücreleri programlama yeteneğini elde ettiğinizde, hücrelerin ne yapmayı bildikleriyle kısıtlanmak zorunda kalmazsınız. Hücreleri yeni görevler için yeni örüntülerle programlayabilirsiniz," diye açıklamaktadır.

---

53 S. Graham, "Methuselah Worm Remains Energetic for Life," 27 Ekim 2003, www.sciam.com/article.cfm?chanID=sa003&articleID=000C601F-8711-1F9986FB-83414B7F0156.

54 Ron Weiss'ın Princeton Üniversitesindeki ana sayfasında (http://www.princeton.edu/~ rweiss), yayınlarının listesi verilmektedir: Örneğin, "Genetic Circuit Building Blocks for Cellular Computation, Communications, and Signal Processing," *Natural Computing, an International Journal* 2.1 (Ocak 2003): 47–84.

55 S. L. Garfinkel, "Biological Computing," *Technology Review* (Mayıs–Haziran 2000), http://static.highbeam.com/t/technologyreview/may012000/biologicalcomputing.

56 *Age. Ayrıca bkz.* MIT Medya Laboratuvarının web sitesindeki sürdürülen araştırmalar listesi, http://www.media.mit.edu/research/index.html.

İnsanın Klonlanması: Klonlama Teknolojisinin En Az İlginç Uygulaması

Yaşamın makine parkının kullanımında en güçlü yöntemlerden biri, biyolojinin sahip olduğu üreme mekanizmalarından klonlama için yararlanılmasıdır. Klonlama, yalnızca gerçek insanların klonlanması için değil, ayrıca "sağaltıcı klonlama" yoluyla yaşam süresinin uzatılması için de, kilit teknolojilerden biri olacaktır. Bu süreç, "genç" telomer uzantılı ve DNA'sı düzeltilmiş hücreli yeni dokular oluşturarak, kusurlu doku ve organları ameliyatsız değiştirmektedir.

Sorumlu tüm etikçiler, ben dahil, şu anda insanın klonlanmasının etik olmadığını düşünmektedirler. Ancak, benim öne sürdüğüm nedenlerin, insan yaşamı üzerinde oynama üzerindeki tartışmaların kaygan zeminiyle ilgisi çok azdır. Bu yargım, daha çok teknolojinin henüz çok güvenilir olmamasına dayanıyor. Bugün kullanılan, bir donörden alınan hücre çekirdeğinin elektrik kıvılcımı kullanılarak bir yumurta hücresine kaynaştırılması yöntemi, yüksek düzeyde genetik hataya yol açmaktadır.[57] Bu yöntemle yaratılan fetüslerin çoğunun, gebelik sürecinin sonuna kadar dayanamamalarının ana nedeni budur. Gebelik sürecinin sonuna kadar dayanabilenlerde bile genetik kusurlar çıkmaktadır. Koyun Dolly'de yetişkinlik döneminde obezite baş göstermiştir, bugüne kadar klonlama yöntemiyle yaratılan hayvanların çoğunluğu öngörülemeyen sağlık sorunları yaşamıştır.[58]

---

57 Burada mümkün olan tek bir açıklama vardır: "Memelilerde, dişi embriyolarda iki, erkek embriyolarda bir *X* kromozomu bulunur. Dişilerin gelişiminin ilk dönemlerinde normal olarak *X*'lerden biri ve genlerinin birçoğu susturulur ya da etkisizleştirilir. Böylece erkeklerle dişilerdeki gen ekspresyonu eşitlenir. Ama klonlanmış hayvanlarda, *X* kromozomlarından biri bağışlanan çekirdekte zaten etkisizleştirilmiştir. Önce yeniden programlanması, sonra da yeniden etkisizleştirilmesi gerekir, bı da hata olasılığına neden olur." *CBC News* çevrimiçi personel yayını, "Genetic Defects May Explain Cloning Failures," 27 Mayıs 2002, http://www.cbc.ca/stories/2002/05/27/cloning_errors020527. Bu öyküde bildirilen çalışma: F. Xue vd, "Aberrant Patterns of X Chromosome Inactivation in Bovine Clones," *Nature Genetics* 31.2 (Haziran 2002): 216–220.

58 Rick Weiss, "Clone Defects Point to Need for 2 Genetic Parents," *Washington Post*, 10 Mayıs 1999, http://www.gene.ch/genet/1999/Jun/msg00004.html.

Bilim insanlarının çekirdek ile yumurta hücresini yıkıcı bir elektrik kıvılcımı olmadan kaynaştırmanın alternatif yöntemleri de dahil olmak üzere, klonlamayı mükemmelleştirmek için öne sürdükleri birtakım tezler var; ancak, kullanılan teknolojinin güvenilirliği net olarak kesinleştirilmeden, ciddi sağlık sorunları yaşaması olasılığı bu derece yüksek bir insan yaşamını yaratmak etik olmayacaktır. Taşıdığı reklam değerinden, ölümsüzlüğün zayıf bir biçimi olarak getireceği yarara kadar bilinen tüm nedenlerin itici gücüyle insanın klonlanmasının gerçekleştirileceği, hatta bunun kısa zamanda olacağı kuşkusuzdur. Gelişmiş hayvanlar üzerinde uygulanabilen yöntemler insanlarda da gayet iyi sonuçlar verecektir. Teknoloji, güvenilirlik bakımından mükemmelleştirildiğinde, var olsa bile, etik engeller çok zayıflamış olacaktır.

Klonlama önemli bir teknolojidir, ama insanların klonlanması bu teknolojinin en kayda değer kullanım alanı değildir. Öncelikle bu teknolojinin en değerli, sonra da en tartışmalı uygulama alanlarına bakalım.

Klonlama Neden Önemli? Klonlamanın kısa sürede olabilecek ilk uygulaması, bir hayvanın, istenen genetik özelliklerle yavrulama yeteneğinin kazandırılarak yetiştirilmesidir. Bunun güçlü bir örneği, gen aktarımlı embriyolardan (yabancı genlere sahip embriyolar) ilaç üretimi için hayvan üretimidir. Buna tipik bir örnek, kanser sağaltımında umut veren ve gen aktarımlı keçilerin sütünden üretilen antianjiyogenez ilaç aaATIII'dir.[59]

Soyu Tükenmekte Olan Türlerin Korunması ve Soyu Tükenmiş Olanların Geri Kazanılması. Heyecan verici bir diğer uygulama, soyu tükenmekte olan hayvanların yeniden yaratılmasıdır. Bu türlerden alınan hücrelerin sıfırın altındaki sıcaklıklarda korunmasıyla türler yok olmak zorunda kalmayacaktır. Soyu yakın dönemde tükenmiş hayvanların yeniden üretilmeleri de sonunda

---

59 A. Baguisi vd, "Production of Goats by Somatic Cell Nuclear Transfer," *Nature Biotechnology* 5 (Mayıs 1999): 456–461. Bu çalışmayı yapan Genzyme Transgenics Corporation, Louisiana Eyalet Üniversitesi ve Tufts Üniversitesi Tıp Fakültesi arasındaki ortaklık hakkında daha fazla bilgi için *bkz.* 27 Nisan 1999 basın bülteni, "Genzyme Transgenics Corporation Announces First Successful Cloning of Transgenic Goat," http://www.transgenics.com/ pressreleases/pr042799.html.

mümkün olacaktır. Bilim insanları, soyu 65 yıl önce tükenmiş olan Tasmanya kaplanını yaşama döndürebilmek umuduyla, hayvanın DNA'sını 2001 yılında yapay olarak üretmeyi başardılar.[60] Soyu uzun zaman önce tükenmiş türler (örneğin dinozorlar) söz konusu olduğundaysa, tek bir hücrede bozulmadan kalmış olması gereken DNA'yı (*Jurassic Park*'taki gibi) bulabilmemiz pek olası değildir. Bununla birlikte birçok cansız parçadan elde edilen bilgilerin bir araya getirilmesiyle, gerekli DNA'yı sonunda büyük olasılıkla sentezleyebileceğiz.

Sağaltıcı Klonlama. Gelişmekte olan uygulamalardan belki de en değerli olanı, insanın kendi organlarının sağaltım amaçlı klonlanmasıdır. Genetik mühendisleri germline (yumurta ya da sperm yoluyla bebeğe aktarılan) hücrelerden başlayarak, çeşitli hücre tiplerinde başkalaşımı tetikleyebilmekteler. Farklılaşma, fetüsün oluşmasından önceki dönemde (yani fetüsün yerleştirilmesinden önce) gerçekleştiğinden, konu çok tartışmalı da olsa, birçok etikçi bu sürece ilişkin kaygının olmadığını düşünmektedir.[61]

İnsanda Somatik Hücre Mühendisliği. Daha fazla umut vaat eden, transdiferansiyasyon adı verilen bu yöntem, fetüsün kök hücrelerinin kullanılması nedeniyle ortaya çıkan tartışmaları tamamen aşmıştır. Yöntem, hastanın kendi DNA'sını kullanmakta, bir tip hücreyi (örneğin deri hücresini) diğer bir hücre tipine (örneğin pankreasın islet hücresi ya da kalp hücresine) dönüştürerek yeni doku üretmektedir.[62] Amerika Birleşik Devletleri ve

60 Luba Vangelova, "True or False? Extinction Is Forever," *Smithsonian,* Haziran 2003, http://www.smithsonianmag.com/smithsonian/issues03/jun03/phenomena.html.

61 J. B. Gurdon ve A. Colman, "The Future of Cloning," *Nature* 402.6763 (16 Aralık 1999): 743–746; Gregory Stock ve John Campbell, yay. haz., *Engineering the Human Germline: An Exploration of the Science and Ethics of Altering the Genes We Pass to Our Children* (New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2000).

62 Scripps Araştırma Enstitüsünün işaret ettiği gibi, "soya bağlı hücrelerin aynılaştırılması ya da çok yetili progenitor hücrelere çevrilmesi yeteneği, klinik uygulamalarda ESC ve kök hücrelerin kullanımına ilişkin birçok engelin üstesinden gelebilir (verimsiz farklılaşma, allojenik hücrelerin reddi, verimli ayırma ve büyüme vd). Verimli bir aynılaştırma işlemi yoluyla, sağlıklı, verimli ve kolaylıkla ulaşılabilen yetişkin hücreler kullanılarak, bozuk doku ve organları tamir edecek farklı tipte işlevsel hücrelerin üretilmesi akla yatkındır" (http://www. scripps.edu/chem/ding/sciences.htm).

Norveç'ten bilim insanları, son dönemde karaciğer hücrelerini pankreas hücreleri olarak yeniden programlamayı başardılar. Bir başka deneyler dizisinde ise, insanın deri hücreleri, bağışıklık sistemi hücrelerinin ve nöronların birçok özelliğini almak üzere dönüştürüldü.[63]

Bir deri hücresi ile vücuttaki herhangi bir diğer tip hücre arasındaki farkın ne olduğu sorusunu ele alalım. Sonuçta hepsi aynı DNA'yı taşırlar. Yukarıda belirtildiği gibi, farkları, henüz anlamaya başladığımız, kısa RNA parçaları ve peptitler içeren protein sinyal faktörlerinde ortaya çıkmaktadır.[64] Bu proteinleri yönlen-

---

Farklılaştırılan bir hücre tipinin doğrudan bir diğer hücre tipine dönüştürülmesi –transdiferansiyasyon adı verilen işlem– hasta ya da bozuk hücre ya da dokuların yerini alacak izogenik hücrelerin [hastanın kendi hücrelerinin] üretiminde yararlı olacaktır. Yetişkin kök hücreleri, beklenenden daha geniş bir farklılaşma potansiyeli gösterir, ayrıca içinde yer aldıkları dokulardan başka dokulara da katkıda bulunabilmeleri olasılığı vardır. Bu özellikle sağaltım etkenleri olarak değerli olabilirler. Transdiferansiyasyonda son zamanlarda kaydedilen ilerlemeler, çekirdek transplantasyonu, hücre kültürünün durumlarının yönlendirilmesi, ektopik gen ekspresyonunun başlatılması ve hücre özütlerinden moleküllerin alınması işlemlerini kapsamaktadır. Bu yöntemler, izogenik replasman hücrelerinin üretilmesi için yeni yollara giden kapıları açmaktadır. Öngörülmeyen doku oluşumundan kaçınabilmek için hücrenin yeniden programlanması, kontrollü ve kalıtımla geçebilen epigenetik değişiklikleri gerektirmektedir. Hücrenin yeniden programlanmasının altında yatan moleküler işlemleri aydınlatacak ve yeniden programlanan hücrelerdeki değişikliklerin tutarlılığını değerlendirecek hatırı sayılır çalışmalar yapılmaktadır.

P. Collas ve Anne-Mari Håkelien, "Teaching Cells New Tricks," *Trends in Biotechnology 21.8* (Ağustos 2003): 354–361'den alıntı; P. Collas, "Nuclear Reprogramming in Cell-Free Extracts," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London,* B 358.1436 (29 Ağustos 2003): 1389–1395.

63 Araştırmacılar, laboratuvar ortamında insanın karaciğer hücrelerini pankreas hücrelerine dönüştürmeyi başarmışlardır: Jonathan Slack vd, "Experimental Conversion of Liver to Pancreas," *Current Biology* 13.2 (Ocak 2003): 105–115. Araştırmacılar, hücre özütlerini kullanarak hücrelerin, farklı hücreler gibi davranmalarını programladılar. Örneğin, deri hücreleri T-hücresinin özelliklerini göstermek üzere yeniden programladılar. Anne-Mari Håkelien vd, "Reprogramming Fibroblasts to Express T-Cell Functions Using Cell Extracts," *Nature Biotechnology* 20.5 (Mayıs 2002): 460–466; Anne--Mari Håkelien ve P. Collas, "Novel Approaches to Transdifferentiation," *Cloning Stem Cells* 4.4 (2002): 379–387. *Ayrıca bkz.* David Tosh ve Jonathan M. W. Slack, "How Cells Change Their Phenotype," *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 3.3 (Mart 2002): 187–194.

64 *Bkz.* yukarıda 21. notta verilen transkripsiyon tanımı.

direrek gen ekspresyonunu etkileyebilir, bir hücreyi kandırarak başka bir hücreye dönüşmesini sağlayabiliriz.

Bu teknolojiyi mükemmelleştirmemiz, yalnızca hassas bir etik ve siyasi konuyu yatıştırmakla kalmayacak, ayrıca bilimsel açıdan ideal bir çözümü de sağlayacaktır. Pantreatik islet hücrelerine ya da böbrek dokusuna, hatta yeni bir kalbin tamamına, gereksiniminiz varsa, otoimmün tepkilerden kaçınabilmek için, bunları başkasının germline hücrelerinin DNA'sındansa kendi DNA'nızdan almayı tercih edersiniz. Bu yöntemde ayrıca, ender bulunan değerli kök hücreler yerine çok sayıda (hastanın) deri hücresi kullanılmaktadır.

Transdiferansiyasyon işlemi, organı doğrudan kendi genetik yapınızda büyütecektir. Belki de en önemlisi, yeni organın telomerleri başlangıçta sahip oldukları genç uzunluğa sahip olabilecek, böylelikle yeni organ yine gerçekten genç bir organ olabilecektir.[65] Diğer hücre tiplerine dönüştürmek için transdiferansiyasyon işleminden önce, uygun (yani DNA hatası bulunmayan) deri hücrelerini seçerek, biriken DNA hatalarını da düzeltebiliriz. Bu yöntemle, seksen yaşındaki bir kişi, kalbini örneğin yirmi beş yaşındaki kalbinin aynısıyla değiştirtebilir.

Tip 1 şeker hastalığında bugün uygulanan sağaltım yöntemleri, tehlikeli yan etkileri olabilen güçlü antirejeksiyon ilaçları gerektirmektedir.[66] Somatik hücre mühendisliği sayesinde tip 1

---

65 R. P. Lanza vd, "Extension of Cell Life-Span and Telomere Length in Animals Cloned from Senescent Somatic Cells," *Science* 288.5466 (28 Nisan 2000): 665-669. *Ayrıca bkz.* J. C. Ameisen, "On the Origin, Evolution, and Nature of Programmed Cell Death: A Timeline of Four Billion Years," *Cell Death and Differentiation* 9.4 (Nisan 2002): 367-393; Mary-Ellen Shay, "Transplantation Without a Donor," *Dream: The Magazine of Possibilities* (Children's Hospital, Boston), Güz 2001.

66 Ulusal Sağlık Kurumları ile Gençlik Diyabet Kurumunun bir projesi olan İmmün Tolerans Ağı (http://www.immunetolerance.org) 2000 yılında, islet hücrelerinin etkililiğini değerlendirmek amacıyla çokmerkezli klinik deneyin yürütüldüğünü açıkladı.

Klinik deneme çalışmasının yayımlanan bir özetine (James Shapiro, "Campath-1H and One-Year Temporary Sirolimus Maintenance Monotherapy in Clinical Islet Transplantation," http://www.immunetolerance.org/public/clinical/islet/trials/shapiro2.html) göre, "İslet akışında hiçbir sınırlama olmasa bile bu tedavi, antirejeksiyon tedavisiyle ilişkili olarak uzun dönemde ortaya çıkabilecek potansiyel kanser, yaşamsal enfeksiyonlar ve ilaçların yan etkileri nedeniyle tüm Tip 1 şeker hastaları için uygun değildir. Eğer en dü-

şeker hastaları pankreatik islet hücrelerini kendi hücrelerinden, ya kendi deri hücrelerinden (transdiferansiyasyon) ya da yetişkin kök hücrelerinden üretebilecektir. Bu durumda kendi DNA'larını kullanarak görece tüketilmeyecek bir hücre kaynağından yararlanabilecekler, böylelikle antirejeksiyon ilaçlarına gerek kalmayacaktır. (Ancak tip 1 şeker hastalığını tamamen iyileştirebilmek için, hastanın vücudundaki islet hücrelerini öldüren otoimmün rahatsızlığını da yenmemiz gerekecektir.)

Daha da heyecan verici olan ise, insanın organ ve dokularının ameliyata gerek olmadan, "gençleriyle" değiştirilebilmesi olasılığıdır. Klonlanmış, telomer açısından geliştirilmiş, DNA'ları düzeltilmiş hücrelerin bir organa yerleştirilmesiyle, bu hücreler eski hücrelerle birleşebilecektir. Böyle bir sağaltımın belli bir dönemde üst üste yinelenmesiyle, söz konusu organ genç hücrelerin etkisine girecektir. Normal olarak hücrelerimiz zaten düzenli olarak yenilenmektedir. Bu yenilenme, kısaltılmış telomerli hatalı hücreler yerine neden dinç, gençleştirilmiş hücrelerle olamaz mı?

Dünyada **Açlığın Çözümü.** Klonlama teknolojileri dünyadaki açlığa bile olası bir çözüm getirmektedir: *Hayvan kullanmadan*, hayvanın kas dokusu klonlanarak et ve diğer protein kaynaklarının fabrikada üretilmesi. Bu, çok düşük maliyet, doğal ette bulunan böcek zehri ve hormonlardan arınma, çevreye etkilerin (fabrika çiftçiliğine kıyasla) büyük ölçüde azaltılması, geliştirilmiş besin profili ve hayvanlara acı çektirilmemesi gibi yararlar sağlayacaktır. Sağaltıcı klonlamada olduğu gibi bu yöntemde de hayvanın tamamı yaratılmayacak, hayvanın yalnızca istenen bölümleri ya da eti üretilecektir. Sonuçta, bir hayvandan milyarlarca kilo et elde edilebilecektir.

Bu işlemin açlığa çözüm getirmek dışında başka yararları da vardır. İvmelenen getiriler yasası –bilgi tabanlı teknolojilerin fiyat performansının zaman içinde üstel olarak gelişmesi– bu yöntemle et üretiminde de geçerli olur, et giderek ucuzlar. Bugün dünyada

---

şük risk önceden belirlenebilip tolerans [rejeksiyonu engellemek amacıyla uzun süreli ilaç kullanımına gerek olmadan belirtisiz doku nakli fonksiyonu] elde edilebilirse o zaman islet transplantasyonu, şeker hastalığının seyrinin erken evrelerinde ve giderek çocuklarda tanı aşamasında güvenle kullanılabilecektir."

yaşanan açlığın böylesine ağır duruma gelmesinin asıl nedeni siyasi konular ve anlaşmazlıklar olmakla birlikte, yine de et satın alma gücüne büyük etkisi olacak kadar ucuzlayabilir.

Hayvansız etin ortaya çıkmasıyla birlikte, hayvanların acı çekmesini de ortadan kaldıracaktır. Fabrika çiftçiliği ekonomisi, bir makinenin dişlileri olarak gördüğü hayvanların rahatlığına pek fazla öncelik vermez. Bu yöntemle üretilen et, tüm diğer yönleriyle normal olmakla birlikte (en azından biyolojik bir hayvanda acıyı gerektirdiği kabul edilen) sinir sistemli bir hayvanın bir parçası olmayacaktır. Aynı yöntemi, deri ve kürk gibi, hayvanlardan elde edilen yan ürünler için de kullanabiliriz. Diğer başlıca avantajlar, fabrika çiftçiliğinin neden olduğu büyük ekolojik ve çevresel zararları yok etmenin yanı sıra, deli dana hastalığı ile insandaki karşılığı vCJD gibi prion kaynaklı hastalıkların riskinin de ortadan kaldırılması olacaktır.[67]

İnsanın Klonlanmasının Yeniden Ele Alınması. Bu bizi yine insanın klonlanması konusuna getirir. Bu teknoloji mükemmelleştirildiğinde, ne etikçilerin şiddetli ikilemlerinin ne de heveslilerinin muştuladıkları derin vaatlerin ağır basacağını sanıyorum. Peki, ya genetik ikizleri birbirlerinden bir ya da iki kuşak süresince ayırsak ne olur? Büyük olasılıkla klonlama da bir süre tartışmalı olacak, kısa zamanda kabullenilen diğer üreme teknolojileri gibi hızla benimsenecektir. Fiziksel klonlama, sonuçta, bir insanın tüm kişiliğinin, belleğinin, becerilerinin, geçmişinin farklı, büyük olasılıkla da daha güçlü bir düşünme ortamına yükleneceği zihinsel klonlamadan çok daha farklıdır. Genetik klonlamayla ilgili felsefi bir kimlik sorunu söz konusu değildir; çünkü bunlar farklı kişilerdir, hatta bugünün geleneksel ikizlerinden de farklıdırlar.

Hücrelerden organizmalara klonlama kavramına bütün olarak baktığımızda, klonlamanın biyolojide, aynı zamanda bilgisayar teknolojisinde yaşanan diğer devrimlerle büyük bir sinerji oluşturduğunu görürüz. İnsanların ve hayvanların genom ile proteomunu (genomun protein olarak ifadesi) anlamayı öğrendikçe ve genetik bilgiyi kullanmak için yeni güçlü araçlar geliştirdikçe,

---

67 "Lab Grown Steaks Nearing Menu," http://www.newscientist.com/news/news. jsp?id=ns99993208, teknik konuları da ele almaktadır.

klonlama bize hayvanları, organları ve hücreleri kopyalayabilmemiz için gerekli aracı sağlayacaktır. Bunun, kendi sağlık ve esenliğimize olduğu kadar hayvanlar dünyasındaki evrimsel kuzenlerimizin sağlık ve esenliği üzerinde de önemli yansımaları olacaktır.

Ned LUDD: *Eğer herkes genlerini değiştirebilecekse, o zaman herkes her yönden "mükemmel" olmayı seçecektir; böylelikle farklılık olmayacak, mükemmel olmak anlamsızlaşacaktır.*

Ray: *Tam olarak değil. Genler tabii ki önemli; ama bedenimizle beynimiz yaşanan deneyimlerle kendiliğinden düzenlenirken, doğamız (becerilerimiz, bilgimiz, bellek ve kişiliğimiz) genlerimizdeki tasarım bilgisini yansıtır. Bu, sağlığımızda da kolaylıkla görülür. Kişisel olarak benim tip 2 şeker hastalığına genetik eğilimim var, yirmi yıl önce bu hastalığın tanısını aldım. Ama bugün bende şeker hastalığının hiçbir belirtisi görülmüyor; çünkü beslenme, egzersiz ve yoğun destekler gibi, yaşam tarzımla ilgili yaptığım seçimler sayesinde biyokimyamı yeniden programlayarak, bu genetik eğilimi yendim. Beynimize gelince, hepimizin çeşitli yetenekleri var ama gerçek yeteneğimiz, öğrenip, geliştirip yaşadıklarımızın bir işlevidir. Genlerimiz doğal yapımızı yansıtır. Bunun nasıl işlediğini beynimizin gelişiminde görebiliriz. Genler, nöronlar arasındaki bağlantı örüntüleri için belli kural ve kısıtlamaları tanımlar, ama gerçekte yetişkin olarak sahip olduğumuz bağlantılar, öğrendiklerimiz üzerine kurulan kendiliğinden düzenlenme sürecinin sonucudur. Hem doğanın (genler) hem de yetişmenin (deneyim) sonuç, yani kim olduğumuz, üzerindeki etkisi derindir.*

Yani, yetişkinler olarak genlerimizi değiştirme olanağını elde ettiğimizde, gençlik genlerimizin üzerimizdeki etkilerini silip atmayacağız. Gen terapisinden önce yaşanan deneyimler, terapi öncesinde var olan genlerimiz yoluyla aktarılmış olacak, dolayısıyla kişinin karakteri ve kişiliği yine temelde orijinal genler tarafından biçimlenecektir. Örneğin, beynine gen terapisiyle müzik yeteneği için gen ekleyen birisi, bir anda bir müzik dehasına dönüşmeyecektir.

Ned: *Tamam, tasarım ürünü bebekler yapanların tasarım öncesi genlerinden tamamen uzaklaşamayacaklarını anlıyorum;*

ama tasarım ürünü bebek lerle bunları ifade edebilecekleri genlere ve zamana sahip olacaklardır. Ray: "Tasarım ürünü bebek" devrimi çok yavaş olacaktır; bu yüzyılda belirleyici bir etmen olmayacaktır. Diğer devrimler onun önüne geçecektir. Daha bir on ya da yirmi yıl, tasarım ürünü bebekler için gereken teknolojiye sahip olmayacağız. Teknolojinin kullanılacağı ölçüde, yavaş yavaş benimsenecek, bu kuşakların elinde olgunluğa erişmesi için daha bir yirmi yıl geçecektir. O güne gelindiğinde, biyolojik olmayan zekâ ağır basarak gerçek devrimi yapacak, Tekilliğe yaklaşacağız. Bu, herhangi bir tasarım ürünü genin yeteneklerinin çok ötesine geçecektir. Tasarım ürünü bebek ve bu bebekleri yapan ebeveynler düşüncesi, yalnızca biyolojideki bilgi süreçlerinin yeniden programlanmasıdır. Ama bu, yine de tüm temel kısıtlamalarıyla biyolojidir.

Ned: *Bir şeyi atlıyorsun. Biyolojik olan biziz. Sanırım birçok kişi, insan olmanın, özünde biyoloji demek olduğu düşüncesine katılacaktır.*

Ray: *Bugün için bu kesinlikle doğru.*

Ned: *Ben de bunu sürdürmeyi düşünüyorum.*

Ray: *Kendin için konuşuyorsan itirazım yok. Ama biyolojik olarak kalır ve genlerini yeniden programlamazsan, bu tartışmaları etkileyebilecek kadar uzun süre ortalarda olamayacaksın.*

Nano teknoloji: Bilgi ile Fiziksel Dünyanın Kesişimi

Sonsuz küçük olanın rolü sonsuz büyüklüktedir.

—Louis Pasteur

Ama sorulacak son soruyu, sonunda, o büyük gelecekte, atomları, tam tamına atomlar düzeyinde dilediğimiz biçimde düzenleyip düzenleyemeyeceğimiz sorusunu düşünmekten korkmuyorum!

—Richard Feynman

Nano teknoloji, insanın yeteneklerini güçlerdirme, malzemenin, suyun, enerjinin ve besinin sürdürülebilir gelişimini sağlama, bilinmeyen bakterilere ve virüslere karşı koruma sağlama, hatta barışın bozulmasını hazırlayan nedenleri

[evrensel bolluk yaratarak] ortadan kaldırma potansiyeline sahiptir.

—Ulusal Bilim Vakfı Nano teknoloji Raporu

Nano teknoloji, fiziksel dünyayı –bedenlerimiz ve beyinlerimiz dahil– tek tek molekül parçaları temelinde, potansiyel olarak da tek tek atomlar temelinde yeniden kuracak araçları vaat etmektedir. Teknolojinin temel özniteliklerini ivmelenen getiriler yasasına uygun olarak her on yılda bir, her doğrusal boyut için ortalama dört kat hızla, üstel olarak küçültüyoruz.[68] Bu hızla, 2020'li yıllara gelindiğinde çoğu elektronik ve mekanik teknolojinin temel özniteliklerinin boyutları nano teknolojinin (genelde yüz nanometrenin altında olarak düşünülmektedir) kapsamına girecektir. (Henüz üç boyutlu yapılarda ve kendiliğinden birleşme özelliği olmasa da, elektronik şu anda bu eşiğin altına inmiştir.) Bu arada, özellikle son birkaç yılda gelecek nano teknoloji çağının kavramsal çerçevesinin ve tasarım düşüncelerinin hazırlanmasında hızlı ilerleme kaydedilmiştir.

Yukarıda irdelenen biyoteknoloji devrimi ne kadar önemli olacak olursa olsun, yöntemler tam olarak olgunlaştırıldığında, biyolojinin kendisinde karşımıza sınırlar çıkacaktır. Biyolojik sistemler zekâ bakımından olağanüstü de olsa, bunların son derece yetersiz olduğunu da keşfettik. Beynin son derece yavaş olan iletişim hızından söz etmiştim; aşağıda irdelediğim gibi (*bkz.* s. 253), kırmızı kan hücrelerimizin yerini alacak robotik unsurlar, biyolojik akranlarından binlerce kat daha verimli olabileceklerdir.[69] Biyoloji hiçbir zaman onun çalışma ilkelerini tam anlamıyla anladığımız zaman yapabileceklerimize eşdeğer olmayacaktır.

Ancak nano teknolojideki devrim, bedenlerimizi, beyinlerimizi ve etkileşime girdiğimiz dünyayı tek tek moleküller düzeyinde

---

68 Öznitelik boyutlarının yarı yarıya küçülme süresi her boyut için beş yıldır. *Bkz.* ikinci bölümdeki tartışma.

69 Robert A. Freitas Jr.'ın bir analizine göre, bir insanın alyuvarlarının yüzde onunun değiştirilerek yerine robotik respirositlerin yerleştirilmesi, o insanın nefesini dört saat, yani bir dakikadan (tüm biyolojik kırmızı kan hücreleriyle mümkün olan yaklaşık süre) 240 kat uzun bir süre tutabilmesini mümkün kılacaktır. Bu artış alyuvarların yalnızca yüzde onunun değiştirilmesiyle elde edilebildiğine göre respirositler binlerce kat daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

yeniden tasarımlayıp yeniden kurmamızı eninde sonunda sağlayacaktır.[70] İki devrim örtüşmekle birlikte nano teknolojinin tam anlamıyla gerçekleşmesi, biyoteknoloji devriminin bir on yıl kadar gerisinden gelmektedir.

Nano teknoloji tarihçilerinin çoğu, nano teknolojinin kavram olarak ortaya çıkışını fizikçi Richard Feynman'ın 1959'da yaptığı, atomlar düzeyinde mühendislik makinelerinin kaçınılmazlığını ve köklü sonuçlarını anlattığı, çığır açan konuşması "Aşağıda Çok Yer Var"a dayandırır:

> Görebildiğim kadarıyla fiziğin ilkelerinde, nesnelerin tek tek atomlar düzeyinde çalıştırılmaları olasılığına aykırı bir

---

70 Nano teknoloji, "ürünler ile yan ürünlerin her molekülünün yönlendirilmesi temelinde maddenin yapısının eksiksiz ve ucuz yöntemle kontrol edilmesi; moleküler makineler de dahil olmak üzere moleküler üretimin ürün ve işlemleridir." (Eric Drexler ve Chris Peterson, *Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution* [New York: William Morrow, 1991]). Yazarlara göre: Teknoloji bin yılıdr, giderek maddenin yapısını daha fazla kontrol edebilmek üzere gelişti... Geçmiş teknolojiler –mikrodalga tüpleri, lazerler, süper iletkenler, uydular, robotlar ve benzerleri– önceleri yüksek fiyatlarla ve kısıtlı uygulamalarla da olsa fabrikalardan damla damla çıktılar. Ama moleküler üretim bilgisayarlara benzeyecektir: çok çeşitli uygulama alanlarına sahip esnek bir teknoloji. Üstelik, moleküler üretim bilgisayarlar gibi geleneksel fabrikalardan ve yavaş yavaş çıkmayacak; fabrikaların yerini alacak, ürettikleri ürünlerin ya yerini alacak ya da bu ürünleri geliştirecektir. Bu, yirminci yüzyılın marifetli bir başka aracı değil, yeni ve temel bir şeydir. Yirminci yüzyılın bilimsel akımlarının içinden doğacak ama teknoloji, ekonomi ve çevreyle ilgili akımları değiştirecektir. [Bölüm 1]
Drexler ve Peterson bu devrimin etkilerinin olası kapsamını da anahatlarıyla verirler: "Gazete kadar ucuz, asfalt kadan dayanıklı" verimli güneş pilleri, soğuk virüsleri biyolojik bozulmaya neden olmalarından önce altı saat içinde öldürebilen moleküler mekanizmalar, bir düğmeye basarak çalışan ve bedendeki kötü huylu hücreleri yok eden bağışıklık makineleri, cep süper bilgisayarları, fosilden elde edilen yakıtın kullanımının sona ermesi, uzayda yolculuk ve tükenmiş türlerin yeniden canlandırılması. *Ayrıca bkz.* E. Drexler, *Engines of Creation* (New York: Anchor Books, 1986). Foresight Enstitüsü, nano teknoloji hakkında sık sorulan soruları ve diğer bilgileri içeren yararlı bir liste hazırlamıştır (http://www. foresight.org/NanoRev/FIFAQ1.html). Webde bulunan diğer kaynaklar, Ulusal Nano teknoloji Girişimi (http://www. nano.gov), http://nanotechweb.org, Dr. Ralph Merkle'nin nano teknoloji sayfası (http://www.zyvex.com/nano) ve çevrimiçi bir yayın olan *Nanotechnology* (http://www.iop.org/EJ/journal/0957-4484). Nano teknoloji hakkında kapsamlı içerik yazarın web sitesinde bulunabilir: http://www.kurzweilAI. net/meme/frame.html?m=18.

şey söylenmemekte. İlke olarak ... bir fizikçinin, bir kimyacının not aldığı herhangi bir kimyasal maddeyi yapay olarak üretmesi mümkündür... Nasıl mı? Atomları kimyagerin söylediği yere koyun, sonra maddeyi yapın. Yaptığımız şeyleri görme, işlemleri atom düzeyinde yürütebilme yeteneğimiz sonunda gelişirse bu da kaçınılmaz olduğunu düşündüğüm bir gelişmedir, bunun kimya ve biyolojinin sorunlarına büyük yararı olacaktır.[71]

Daha da erken temellenen bir nano teknoloji kavramı, 1950'lerin başlarında bilgi kuramcısı John von Neumann tarafından, evrensel bilgisayarla birleştirilmiş bir evrensel oluşturucuya dayanan kendiliğinden kopyalanma sistemi modeliyle geliştirildi.[72] Bu öneriye göre bilgisayar, oluşturucuyu yöneten bir program çalıştırmakta, buna karşılık oluşturucu da hem (kendiliğinden kopyalanma programı dahil) bilgisayarın hem de oluşturucunun birer kopyasını kurmaktadır. Bu tür bir açıklama düzeyinde, von Neumann'ın önerisi oldukça soyuttur: Bilgisayar ile oluşturucu birçok farklı yolla yapılabileceği gibi, farklı malzeme kullanılarak da yapılabilir, hatta kuramsal–matematiksel bir yapı bile olabilir. Ama von Neumann kavramı bir adım ileri götürerek, bir "kinematik oluşturucu" önermiştir: Tek bir yönlendiricisi (kolu) olan, ortasında bulunan bir "parçalar denizinden" kendi kopyasını yapacak olan bir robot.[73]

Modern nano teknoloji alanının kurulması, 1980'lerin ortalarında dönüm noktası oluşturan doktora tezinde bu iki ilginç öneriyi birleştiren Eric Drexler'i bekledi. Drexler, Feynman'ın 1959'daki konuşmasında önerdiği gibi, parçalar denizinde atomlarla molekül parçalarının yer aldığı, bir Von Neumann kinetik oluşturucu betimledi. Drexler'in vizyonu birçok disiplinin sınırını

71 Richard P. Feynman, "There's Plenty of Room at the Bottom," Amerikan Fizik Derneği yıllık toplantısı, Pasadena, California, 1959; metin http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html adresinde bulunmaktadır.

72 John von Neumann, *Theory of Self–Reproducing Automata*, yay. haz. A. W. Burks (Urbana: Illinois Üniversitesi Yayınları, 1966).

73 Kinematik makineyle kopyalama üzerine yapılan en kapsamla araştırma Robert A. Freitas Jr. ve Ralph C. Merkle, *Kinematic Self–Replicating Machines* (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2004), http://www.MolecularAssembler.com/KSRM.htm.

öylesine aşmıştı, o kadar da kapsamlıydı ki, benim de akıl hocam Marvin Minsky dışında kimse onun tez danışmanı olmaya cesaret edemedi. Drexler'in (1986 yılında *Engines of Creation* [*Yaratma Motorları*] adıyla kitap olarak yayımlanan ve 1992'de çıkan *Nanosystems* [*Nanosistemler*] adlı kitabında teknik olarak anlattığı) tezi, nano teknolojinin temellerini atıp, bugün hâlâ kullanılan yol haritasını sağladı.[74]

Drexler'in "moleküler birleştiricisi" hemen hemen dünyadaki her şeyi yapabilecektir. "Evrensel birleştirici" adı verilmekle birlikte, Drexler ile diğer nano teknoloji kuramcıları "evrensel" sözcüğünü kullanmazlar; çünkü böyle bir sistemin ürünleri mutlaka fizik ve kimya yasalarına tabi olmalıdır, yani yalnızca atom özellikleri tutarlı olan yapılar yaşayabilecektir. Dahası, atomların tek başına kullanımlarının yararları belirtilmiş olsa da, belli herhangi bir birleştirici, yalnızca kendi parça havuzunu kullanarak ürün yapmakla kısıtlıdır. Yine de böyle bir birleştirici, yüksek verimli bilgisayarlar ve diğer birleştiriciler için altsistemler de dahil, isteyebileceğimiz hemen hemen her aygıtı yapabilecektir.

Drexler, birleştiricinin ayrıntılı tasarımını vermemiştir, fakat – böyle bir tasarım henüz tam kapsamıyla belirlenmedi– Drexler'in savı bir moleküler birleştiricinin ana bileşenlerinin her biri için, uygulanabilirliklerinin kanıtlarını kapsamlı olarak vermektedir. Bu birleştiricinin altsistemleri şunları içerir:

- *Bilgisayar*: Amacı, birleşme işlemini kontrol edebilecek zekâyı sağlamaktır. Aygıtın bütünündeki altsistemler gibi, bilgisayar da küçük ve basit olmalıdır. Üçüncü bölümde betimlediğim gibi, Drexler, transistör geçitleri yerine moleküler "kilitleri" olan mekanik bilgisayarların ilginç bir kavramsal tanımını vermektedir. Her kilit için yalnızca on altı nanometreküp yer gerekecek, kilitlerin her biri saniyede on milyar kez anahtarlama yapabilecektir. Üç boyutlu karbon nanotüp dizileriyle oluşan elektronik bilgisayarlar daha yüksek bilgi işlem gücü (yani gram başına düşen hesaplama sayısı) sağlar gibi görünse de,

74 K. Eric Drexler, *Engines of Creation* ve K. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation* (New York: Wiley Interscience, 1992).

bu önerinin rekabet gücü, bilinen her elektronik teknolojininkinden çok daha yüksektir.[75]

- *Komut mimarisi*: Drexler ve meslektaşı Ralph Merkle, tek bir veri deposunun komutları kaydedip, bu komutları trilyonlarca molekül boyutundaki (her biri kendi basit bilgisayarını barındıran) birleştiricilere eşzamanlı olarak ileteceği tek komut çok veri mimarisini önermektedirler. Tek komut çok veri mimarisinin sınırlamalarından bazılarını üçüncü bölümde irdeledim; ancak (uygulaması, daha esnek olan çok komut çok veri yönteminden daha kolay olan) bu tasarım, bir evrensel nano teknolojik birleştiricinin bilgisayarı için yeterlidir. Bu yöntemle, her birleştirici istenen ürünün oluşturulması için gereken programın tamamını saklamak zorunda kalmayacaktır. Bir "yayın" mimarisi aynı zamanda temel bir güvenlik sorununa da çözüm getirir: Kendiliğinden kopyalanma işlemi kontrolden çıkarsa, kopyalama komutlarının merkezi kaynağı sonlandırılarak, kendiliğinden kopyalanma işlemi kapatılabilir.

  Ancak Drexler'in işaret ettiği gibi, bir nano ölçekli birleştiricinin mutlaka kendiliğinden kopyalanması gerekmez.[76] Kendiliğinden kopyalanmanın doğasında bulunan tehlikeler düşünüldüğünde, Foresight Enstitüsünün (Eric Drexler ile Christine Peterson tarafından kurulan bir düşünce kuruluşu) önerdiği etik standartları, kısıtlamasız kendiliğinden kopyalanmaya, özellikle de doğal ortamlardaki kendiliğinden kopyalanmaya karşı yasaklar içermektedir.

  Sekizinci bölümde irdeleyeceğim gibi, kararlı ve bilgili bir muhalifin bu yöntemi atlatabilmesi mümkün olsa da, yaklaşımın, kasıtsız tehlikelere karşı epeyce etkili olması gerekir.

- *Komut iletimi*: Bilgisayar elektronikse, komutlar, merkezi veri mağazasından ayrı ayrı her birleştiriciye elektronik olarak gönderilebilir, eğer Drexler'in mekanik bilgisayar kavramı kullanılıyorsa da komutlar mekanik titreşimlerle iletilebilir.

75 *Bkz.* üçüncü bölümde ele alınan nanotüp devrelerine ve aynı bölümün 9. notunda verilen nanotüp devrelerinin potansiyelinin çözümlemesi.

76 K. Eric Drexler ve Richard E. Smalley, "Nanotechnology: Drexler and Smalley Make the Case for and Against 'Molecular Assemblers'," *Chemical and Engineering News*, 30 Kasım 2003, http://pubs.acs.org/cen/coverstory/8148/8148counter point.html.

- *Oluşturucu robotu*: Makine, tek kollu, Neumann'ın kinematik oluşturucusuna benzeyen, ancak daha küçük ölçekli, basit bir moleküler robot olabilir. Aşağıda ele alacağım gibi, motor ve robot bacağı olarak işleyebilen, moleküler ölçekte deneysel sistemlerin örnekleri şimdiden bulunmaktadır.
- *Robot kolu ucu*: Drexler'in *Nanosystems* adlı kitabı, robot kolunun ucunun moleküler parçacıkları, hatta tek bir atomu (uygun atom gücü alanlarını kullanarak) tutabilmesini ve istenen yere koymasını sağlamak için birkaç uygulanabilir kimyayı ortaya koymuştur. Yapay elmasların yapımında kullanılan kimyasal buhar çökeltme işleminde, moleküler parçacıklar gibi tek tek karbon atomları da kol ucundaki kimyasal tepkimelerle başka konumlara taşınmaktadır. Yapay elmas yapmak trilyonlarca atomun kullanıldığı kaotik bir işlemdir; ancak, Robert Freitas ve Ralph Merkle tarafından ortaya konan kavramsal öneriyle, robotların kol uçlarının kaynak bir malzemeden hidrojen atomlarını alıp, moleküler makinenin istenen herhangi bir bölümüne yerleştirme yeteneği tasarlanmaktadır. Öneriye göre bu minik makineler elmaslı malzemeden yapılıyor. Malzeme, güçlü olmanın yanı sıra transistörler gibi elektronik bileşenleri oluşturacak biçimde safsızlaştırılabilir. Simülasyonlar, böyle moleküler ölçekteki aygıt, kaldıraç, motor ve diğer mekanik sistemlerin, planlandığı biçimde düzgün çalışacağını göstermiştir.[77] Daha yakın bir dönemde ise dikkatler, üç boyut-

77 Ralph C. Merkle, "A Proposed 'Metabolism' for a Hydrocarbon Assembler," *Nanotechnology* 8 (Aralık 1997): 149–162, http://www.iop.org/EJ/abstract/09574484/8/4/001 ya da http://www.zyvex.com/nanotech/hydroCarbonMetabolism.html. *Ayrıca bkz.* Ralph C. Merkle, "Binding Sites for Use in a Simple Assembler," *Nanotechnology* 8 (1997): 23–28, http://www.zyvex.com/nanotech/bindingSites.html; Ralph C. Merkle, "A New Family of Six Degree of Freedom Positional Devices," *Nanotechnology* 8 (1997): 47–52, http://www.zyvex.com/nanotech/6dof.html; Ralph C. Merkle, "Casing an Assembler," *Nanotechnology* 10 (1999): 315–322, http://www.zyvex.com/nanotech/casing; Robert A. Freitas Jr., "A Simple Tool for Positional Diamond Mechanosynthesis, and Its Method of Manufacture," ABD Geçici Patent Başvurusu No. 60/543,802, başvuru tarihi 11 Şubat 2004, işlem http://www.MolecularAssembler.com/Papers/PathDiam MolMfg.htm adresindeki konferansta betimlenmektedir; Ralph C. Merkle ve Robert A. Freitas Jr., "Theoretical Analysis of a Carbon–Carbon Dimer Placement Tool for Diamond Mechanosynthesis," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 3 (Ağustos 2003): 319–324,

lu olarak birleşmiş altıgen karbon atomu dizileri içeren, ayrıca hem mekanik hem de elektronik işlevleri moleküler düzeyde yerine getirebilen karbon nanotüplere odaklanmıştır. Yapılmış olan moleküler ölçekteki makinelere aşağıda örnekler vereceğim.

- Birleştiricinin *iç ortamı*, çevresel safsızlıkların, hassas bir işlem olan birleşme işlemine müdahale etmelerini engellemelidir. Drexler'in önerisi, yakınında bir boşluğun korunup, birleştiricinin duvarlarının birleştiricinin kendisinin yapabildiği aynı elmassı malzemeden yapılmasıdır.
- Birleşme işlemi için gereken *enerji*, ya elektrik ya da kimyasal enerjiyle sağlanabilir. Drexler, makinenin yapıldığı ham malzemeyle karıştırılmış akaryakıtın kullanıldığı bir kimyasal işlemi önermektedir. Daha yeni öneriler, hidrojen ve oksijeni ya da glikoz ve oksijeni birleştiren nano teknoloji ürünü yakıt hücrelerini ya da ses ötesi frekanslarda ses gücünü kullanmaktadır.[78]

Birçok yapı önerilmiş olmakla birlikte tipik birleştirici, bilgisayardan, giysiye, sanat yapıtlarından pişirilen yemeklere kadar, elimizde yazılım tanımı olabilecek her fiziksel ürünü üretebilen bir masaüstü birim olarak betimlenmiştir.[79] Mobilya, araba, hatta

---

http://www.rfreitas.com/Nano/JNNDimerTool.pdf; Robert A. Freitas Jr. ve Ralph C. Merkle, "Merkle-Freitas Hydrocarbon Molecular Assembler," *Kinematic Self-Replicating Machines* içinde, bölüm 4.11.3 (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2004), s. 130–135, http://www.MolecularAssembler.com/KSRM/4.11.3.htm.

78 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 6.3.4.5, "Chemoelectric Cells," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 152–154, http://www.nanomedicine.com/NMI/6.3.4.5.htm; Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 6.3.4.4, "Glucose Engines," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 149–152, http:// www.nanomedicine.com/NMI/6.3.4.4.htm; K. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*, bölüm 16.3.2, "Acoustic Power and Control," (New York: Wiley Interscience, 1992), s. 472–476. *Ayrıca bkz.* Robert A. Freitas Jr. ve Ralph C. Merkle, *Kinematic Self-Replicating Machines*, ek B.4, "Acoustic Transducer for Power and Control," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2004), s. 225–233, http://www.MolecularAssembler.com/KSRM/AppB.4.htm.

79 Bu düşüncelerin en kapsamlı incelemesi için: Robert A. Freitas Jr. ve Ralph C. Merkle, *Kinematic Self-Replicating Machines*, 4. bölüm, "Microscale and Mo-

konut gibi daha büyük ürünler, modüler yapıda ya da daha büyük birleştiriciler kullanılarak üretilebilir. Özellikle önemli olan, bu yeteneği (tehlikeli olma potansiyeli taşıyan kendiliğinden kopyalanmayı önlemek için) özellikle engellenmediğinde, bir birleştiricinin kendi kopyalarını yapabilmesidir. Birleştiricilerin kendileri dahil her tür fiziksel ürünün üretiminin artan maliyeti, kilo başına birkaç kuruş –temel olarak ham madde maliyeti– olacaktır. Drexler, moleküler üretim işleminin toplam üretim maliyetini, üretilen ürün ister giysi, ister yoğun paralel süper bilgisayar, isterse ek üretim sistemleri olsun, kilo başına on sent ile elli sent arasında öngörmektedir.[80]

Gerçek maliyet tabii ki her ürün tipini açıklayan bilginin –yani, birleşme işlemini yöneten yazılımın– değeri olacaktır. Bir başka deyişle, fiziksel nesneler dahil, dünyadaki her şeyin değeri temelde bilgiye dayanacaktır. Ürünlerin bilgi içeriklerinin hızla artıp, giderek kendi değerlerinin yüzde 100'ü oranında bir asimptotuna yaklaşmaları sayesinde bugün bu durumdan çok uzakta değiliz.

Moleküler üretim sistemlerini kontrol eden yazılımın tasarımının *kendisi*, tıpkı bugün çip tasarımında olduğu gibi, büyük ölçüde otomatikleşecektir. Çip tasarımcıları milyarlarca kabloyla tek tek her bileşenin konumunu belirlemek yerine belli işlev ve özellikleri belirlemekte, bilgisayar destekli tasarım (BDT) sistemleri de bu bilgiyi çiplerin yerleşim planına aktarabilmektedir. BDT sistemleri, benzer biçimde, moleküler üretim kontrol yazılımlarını üst düzey teknik özelliklere göre üretebilecekler. Bu, bir ürünü üç boyutlu tarayıp, üzerinde ters mühendislik işlemi yapıp, tüm yeteneklerini kopyalayabilecek yazılımın üretilmesi olanağını da kapsayacaktır.

Uygulamada merkezi veri mağazası, bir birleştiricide bulunan trilyonlarca (10^{18}'e kadar çıkan bazı hesaplar vardır) robota aynı anda komut gönderecek, her robot aynı anda aynı komutu alacaktır. Birleştirici, bu moleküler robotları önce az sayıda üretecek, ardından ürettiği bu robotları kullanarak, gerekli sayıya ulaşıncaya kadar yineleme yöntemiyle ek robotlar üretecek. Her

---

lecular Kinematic Machine Replicators," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2004), s. 89–144, http://www.MolecularAssembler.com/KSRM/4.htm.

80 Drexler, *Nanosystems*, s. 441.

robotun, kurduğu mekanizmanın tipini belirleyen bir yerel veri belleği olacak. Bu bellek, merkezi veri mağazasından gönderilen genel komutların maskelenip, belli komutların bloke edilmesi ve yerel parametrelerin yerine konması amacıyla kullanılacak. Bu sayede tüm birleştiricilere aynı komut dizisinin gitmesine karşın, her moleküler robotun yaptığı parça belli bir düzeyde özelleştirilebilecektir. Bu işlem, biyolojik sistemlerdeki gen ekspresyonuna benzetilebilir. Her hücrenin her geni taşımasına karşın, gen ekspresyonu yalnızca belirli bir tür hücreyle ilgili olan genler için yapılır. Her robot, gereksindiği ham madde ve yakıtı, bireysel karbon atomları ilee molekül parçalarını da içerecek şekilde kaynak malzemeden çıkarıp alır.

Biyolojik Birleştirici

> Doğa, moleküllerin makineler gibi iş görebildiğini göstermektedir; çünkü canlılar da bu türden bir mekanizmayla çalışır. Enzimler, diğer molekülleri bir arada tutan bağları yapıp, koparıp, yeniden düzenleyen moleküler makinelerdir. Kaslar, lifleri birbirlerinin yanından taşıyan moleküler makineler tarafından yönetilir. Moleküler makineler olan ve protein moleküllerini üreten ribozomlara sayısal komutları ileten DNA, veri saklama sistemi işlevini görür. Üretilen bu protein molekülleri de, ardından, moleküler mekanizmanın büyük çoğunluğunu oluştururlar.
>
> —Eric Drexler

Moleküler birleştiricinin yapılabilirliğinin asal kanıtı yaşamın kendisidir. Gerçekten de, yaşam süreçlerinin dayandığı temele ait bilgimiz derinleştikçe, genelleştirilmiş bir moleküler birleştiricinin tasarım gereksinimleri için uygulanabilir olan belirli düşünceleri de keşfediyoruz. Örneğin, biyolojik hücrelerin kullandıklarına benzeyen, glikoz ve ATP'den (adenozin trifosfat) oluşan bir moleküler enerji kaynağının kullanılmasıyla ilgili öneriler ortaya atılmıştır.

Drexler'in birleştiricisinin aşması gereken sorunların biyolojiyle nasıl çözüldüğünü düşünün. Ribozom, hem bilgisayarı hem de robotun makinesini temsil eder. Yaşam merkezi, veri saklama

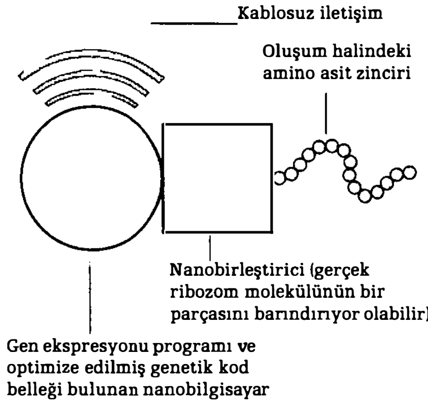
sistemi kullanmaz ama kodun tamamını her hücreye verir. Nano mühendislik ürünü bir robotun yerel veri saklama kapasitesini ("yayın" mimarisini kullanarak) birleşme kodunun yalnızca çok küçük bir bölümüyle sınırlama yeteneği, özellikle de kendiliğinden kopyalanma işlemi sırasında, nano teknolojinin biyolojiden daha güvenli olacağı biçimde oluşturulabilmesinin çok önemli bir boyutudur.

Yaşamın yerel veri saklama sistemi, tabii ki, kromozomlar üzerinde belirli genlere ayrılmış olan DNA dizileridir. Komut maskeleme görevi (belli bir hücre tipine yararı olmayan genlerin bloke edilmesi), kısa RNA molekülleri ve gen ekspresyonunu yöneten peptitler tarafından kontrol edilir. Ribozomun işlevini gerçekleştirebildiği iç ortam, hücrenin içinde korunan, belli bir asit alkalin dengesini (insan hücrelerinde pH derecesi 7 dolayındadır) ve diğer kimyasal dengeleri koruyan özel bir kimyasal ortamdır. Hücre membranı bu iç ortamı dış etkilerden korumakla sorumludur.

Hücre Çekirdeğinin Nanobilgisayar ve Nanobot ile Yükseltilmesi. Prionlar (kendiliğinden kopyalanan patolojik proteinler) dışındaki tüm biyolojik patojenleri yenmek için kavramsal olarak basit bir öneri: 2020'lerde nano teknolojinin tam gelişmesiyle birlikte, biyolojinin hücre çekirdeğinde bulunan genetik bilgi kaynağının yerine, genetik kodu koruyarak, RNA, ribozom ve diğer bilgisayar ögelerinin eylemlerini biyoloji birleştiricisinde simüle edebilecek nano mühendislik ürünü sistemleri koyma potansiyeline sahip olabileceğiz. Bir nanobilgisayar genetik kodu saklayacak ve gen ekspresyonu algoritmalarını uygulayacak. Sonra bir nanobot, ifade edilen genler için amino asit zincirlerini oluşturacak.

Böyle bir mekanizmanın benimsenmesinin önemli yararları olacaktır. Yaşlanma sürecinin önemli bir kaynağı olan DNA transkripsiyon hatalarındaki birikmeyi ortadan kaldırabiliriz. Genlerimizi temelinden yeniden programlayabilecek (bu da gen terapisi yöntemleriyle bu senaryodan çok daha önce yapılabilecek bir şeydir) DNA değişiklikleri yapabiliriz. Ayrıca, genetik bilginin istenmeyen çoğalmasını engelleyerek biyolojik patojenleri (bakteriler, virüsler, kanser hücreleri gibi) yenebiliriz.

Nanobot Tabanlı Çekirdek



Böyle bir nano mühendislik sistemiyle önerilen yayın mimarisi, istenmeyen kopyalanmaları durdurabilmemizi, bu sayede de kanseri, otoimmün tepkimeleri, diğer hastalık süreçlerini yenmemizi sağlayacaktır. Bu hastalık süreçlerinin birçoğu önceki bölümde anlatılan biyoteknoloji yöntemleri sayesinde tamamen alt edilmiş olacaksa da nano teknolojinin kullanımıyla yaşam bilgisayarının yeniden oluşturulması, geriye kalan her tür engeli ortadan kaldıracak, biyolojinin doğal yeteneklerinin çok ötesine geçen dayanıklılık ve esneklik düzeyleri oluşturacaktır.

Robot kolu ucu, her biri belirli bir tRNA'ya bağlı olan amino asitleri tek tek parçalamak ve peptit bağını kullanarak komşu amino aside bağlanmak için ribozomların enzim tepkimeleri yeteneğini kullanacak. Bu biyolojik makine gerekli amino asit zincirini oluşturabileceği için de bu tür bir sistem, ribozomun kendisinin bazı bölümlerini kullanabilecektir.

Ancak, moleküler üretimin hedefi yalnızca biyolojinin moleküler birleşme yeteneklerini kopyalayabilmek değildir. Biyolojik sistemler, proteinden sistem kurma kapasitesiyle sınırlıdır; proteinlerin güç ve hız açısından temel sınırları vardır. Biyolojik proteinler üç boyutlu olsalar da biyoloji tek boyutlu amino asit zincirlerinden katlanabilen kimyasallar grubuyla kısıtlıdır. Elmas aygıtlar ve rotorlardan yapılan nanobotlar da biyolojik hücrelerden binlerce kez daha hızlı ve güçlü olabilecekler.

Bu kıyaslama bilgi işlem açısından çok daha çarpıcı sonuçlar verir: Nanotüp tabanlı bilgi işlemin devre hızı, memelilerin merkezi bağlantılarında kullanılan elektromekanik devrelerin son derece yavaş olan işlem hızından milyonlarca kez daha hızlı olacaktır.

Yukarıda açıklanan elmassı birleştirici düşüncesi dış dünyada robotların kontrolsüz biçimde moleküler düzeyde kopyalanmalarına karşı birkaç korunma yönteminden birini oluşturan tutarlı malzeme girdisini (yapım ve yakıt için) kullanmaktadır. Biyolojinin kopya robotu olan ribozom, aynı zamanda titizlikle denetlenen kaynak ve yakıt malzemesine de gerek duyar; bu malzeme sindirim sistemimiz tarafından sağlanmaktadır. Nanobot tabanlı kopyalayıcılar gelişip, karbon atomları ve karbon tabanlı molekül parçalarını daha az kontrollü kaynak malzemelerden sökme yeteneklerini geliştirdikçe ve işlevlerini biyolojik dünyadaki gibi kontrollü kopyalayıcı alanların dışında gerçekleştirebildikçe, o dünya için ciddi bir tehdit oluşturma potansiyelini kazanacaklardır. Bu, özellikle nanotabanlı kopyalayıcıların herhangi bir biyolojik sisteme kıyasla çok daha yüksek olan gücü ve hızı düşünüldüğünde özellikle geçerlidir. Bu yeteneğin, sekizinci bölümde irdeleyeceğim gibi, büyük bir anlaşmazlığın konusu olduğu kuşkusuzdur.

Nanosystems adlı kitabının yayımlanmasından bu yana geçen on yılda Drexler'in kavramsal tasarımının her yönü, ortaya atılan ek tasarım önerileriyle,[81] süper bilgisayar simülasyonlarıyla, hepsinden önemlisi de ilgili moleküler makinelerin gerçekten yapılmalarıyla doğrulandı. Boston College'dan kimya profesörü T. Ross Kelly, yetmiş sekiz atom kullanarak kimya gücüyle çalışan bir nanomotor yaptığını bildirdi.[82] Carlo Montemagno liderliğindeki bir biyomoleküler araştırma grubu ATP yakıtı kullanan bir nanomotor yaptı.[83] Güneş enerjisiyle çalışan molekül boyutundaki

81 Bu düşüncelerin en kapsamlı incelemesi için: Robert A. Freitas Jr. ve Ralph C. Merkle, *Kinematic Self-Replicating Machines,* 4. bölüm, (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2004), s. 89-144, http://www.MolecularAssembler.com/KSRM/4.htm.

82 T. R. Kelly, H. De Silva ve R. A. Silva, "Unidirectional Rotary Motion in a Molecular System," *Nature* 401.6749 (9 Eylül 1999): 150-152.

83 Carlo Montemagno ve George Bachand, "Constructing Nanomechanical Devices Powered by Biomolecular Motors," *Nanotechnology* 10 (1999): 225-231;

bir diğer motor da Hollanda'daki Gröningen Üniversitesinden Ben Feringa tarafından, elli sekiz atom kullanılarak yapıldı.[84] Benzer ilerlemeler, dişli, döner mil ve kaldıraç gibi diğer moleküler ölçekli mekanik bileşenlerde de kaydedildi. Kimyasal enerjinin ve akustik enerjinin (ilk olarak Drexler'in nitelediği gibi) yararlarını ortaya koyan sistemlerin tasarımı yapılarak, bu sistemler simüle edildi ve fiziksel olarak üretildi. Moleküler ölçekteki aygıtlardan çeşitli tipte elektronik bileşenlerin geliştirilmesinde, özellikle de Richard Smalley'nin öncüsü olduğu karbon nanotüpler alanında önemli ilerlemeler kaydedildi.

Nanotüplerin, yapısal bileşenler olarak birçok açıdan uygun oldukları da kanıtlanmaktadır. Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarından araştırmacılar kısa süre önce nanotüplerden oluşan bir taşıma bandını tanıttılar.[85] Nano ölçekteki bu taşıma bandı, çok küçük indiyum parçacıkların bir yerden başka bir yere taşınmasında kullanıldı. Yöntemin molekül boyutundaki çeşitli nesneleri taşımak üzere uyarlanması da mümkün. Aygıta verilen elektrik akımı denetlenerek, devinimin yönü ve hızı ayarlanabiliyor. Tasarımcılardan Chris Reagan, "Bu, bir kontrol düğmesini çevirerek ... nano ölçekteki toplu taşımanın makro ölçekte denetlenmesine denktir," demekte, "tersine de çevrilebilir: Akımın kutuplarını değiştirip, indiyumu ilk konumuna geri gönderebiliriz." Molekül boyutundaki yapı taşlarının hızlı biçimde bir yerden belirli bir yere götürülebilmesi olanağı, moleküler montaj hatlarının kurulmasına yönelik çok önemli bir adımdır.

General Dynamics şirketinin NASA için yürüttüğü bir çalışma, kendiliğinden kopyalanan nano ölçekli makinelerin uygulanabilirliğini göstermiştir.[86] Bilgisayar simülasyonları kullanan araştırma-

---

George D. Bachand ve Carlo D. Montemagno, "Constructing Organic/Inorganic NEMS Devices Powered by Biomolecular Motors," *Biomedical Microdevices* 2.3 (Haziran 2000): 179–184.

84 N. Koumura vd, "Light–Driven Monodirectional Molecular Rotor," *Nature* 401.6749 (9 Eylül 1999): 152–155.

85 Berkeley Laboratuvarı, "A Conveyor Belt for the Nano--Age," 28 Nisan 2004, http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/MSD-conveyor-belt-for-nanoage.html.

86 "Study: Self–Replicating Nanomachines Feasible," 2 Haziran 2004, http://www.small times.com/document_display.cfm?section_id=53&document_id=8007, Tihamer Toth–Fejel, "Modeling Kinematic Cellular Automata," 30

cılar, yeniden yapılandırılabilir moleküler modüllerle yaptıkları, kinematik hücresel otomatlar adını verdikleri moleküler düzeyde doğrulukla çalışan robotların, kendilerini yeniden üretebildiklerini gösterdiler. Tasarımlarda, kendiliğinden kopyalanmanın bu daha güvenli biçimini sağlayan yayın mimarisi de kullanıldı.

DNA'nın da en az nanotüpler kadar moleküler yapılar oluşturmaya yatkın olduğu anlaşılmaktadır. DNA'nın kendine eklemlenme eğilimi onu yararlı bir yapısal öge yapmaktadır. Geleceğin tasarımları DNA'nın bu özelliği gibi bilgi saklama kapasitesini de kullanabilir. Hem nanotüplerin hem de DNA'nın bilgi saklama ve mantıksal denetim için, ayrıca güçlü üç boyutlu yapıların oluşturulmasında da kullanılabilecek olağanüstü özellikleri vardır.

Münih'teki Ludwig Maximilians Üniversitesinden bir araştırma ekibi, birkaç protein içinden birini seçip, ona bağlanıp, ardından komutla serbest bırakabilen bir "DNA eli" yaptılar.[87] Ribozoma benzer bir DNA birleştirici mekanizmanın yapılmasında önemli olan bazı adımlar kısa süre önce nano teknoloji mühendisleri Shiping Liao ve Nadrian Seeman tarafından ortaya kondu.[88] Moleküler nesneleri kontrollü olarak kavrayıp sonra serbest bırakabilmek, moleküler nano teknoloji düzenlemeyi mümkün kılan bir diğer önemli yetenektir.

Dikkatlice yerleştirilmiş kendiliğinden tamamlanan bölgelere sahip 1669 nükleotid uzunluğundaki bir DNA zincirinin birçok kopyasını üreten Scripps Araştırma Enstitüsünden bilim insanları DNA yapı taşlarının oluşturulmasının mümkün olduğunu gösterdiler.[89] Zincirler, kendiliklerinden, karmaşık üç boyutlu yapıların yapı taşları olarak kullanılabilecek rijit sekizyüzlüler olarak birleştiler. Bu sürecin kullanılabileceği bir diğer uygulama da, bu sekizyüzlüleri proteinin gönderileceği bölmeler olarak kullanmak olabilir. Scripps

---

Nisan 2004, http://www.niac.usra.edu/files/studies/final_report/pdf/883Toth-Fejel.pdf, üzerine bildiri.

87 W. U. Dittmer, A. Reuter ve F. C. Simmel, "A DNA-Based Machine That Can Cyclically Bind and Release Thrombin," *Angewandte Chemie International Edition* 43 (2004): 3550-3553.

88 Shiping Liao ve Nadrian C. Seeman, "Translation of DNA Signals into Polymer Assembly Instructions," *Science* 306 (17 Aralık 2004): 2072-2074, http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/306/5704/2072.pdf.

89 Scripps Araştırma Enstitüsü, "Nano-origami," 11 Şubat 2004, http://www.eurekalert.org/pub_releases/2004-02/sri-n021004.php.

araştırmacılarından Gerald F. Joyce bunu "ters virüs" olarak adlandırmıştır. Kendiliğinden birleşen virüslerin de çoğunlukla içinde DNA (ya da RNA) taşıyan, proteinden oluşan dış kabukları vardır. Joyce, "İlkesel olarak bu işlemle, dışarıda DNA içeride de protein elde edebilirsiniz," demektedir. DNA'dan yapılan nano ölçekli bir aygıtın özellikle etkileyici bir sunumu, on nanometre uzunluğundaki bacakları üzerinde yürüyebilen, iki ayaklı çok küçük bir robottur.[90] Robotun hem bacakları hem de yürüme bandı, yine molekülün kendini kontrollü biçimde bağlama ve ayırma yeteneği için seçilen DNA'dan yapılmıştır. New York Üniversitesinden kimya profesörleri Nadrian Seeman ile William Sherman'ın projesi olan nanorobot, bacaklarını banttan ayırıp, ileriye götürüp, yeniden şeride bağlayarak yürümekte. Proje, nano ölçekli makinelerin kusursuz manevralar yapabilme yeteneklerinin etkileyici sunumlarından biridir.

Nanobot tasarlamanın diğer bir yöntemi, doğadan öğrenmektir. Oak Ridge Ulusal Laboratuvarından nano teknoloji uzmanı Michael Simpson, bakterilerin "hazır yapım makine[ler] olarak" incelenmesi olasılığından söz etmektedir. Doğal olarak nanobot boyutunda nesneler olan bakteriler hareket edebilmekte, yüzebilmekte, sıvı pompalayabilmektedirler.[91] Harvard'daki Rowland Enstitüsünden araştırmacı Linda Turner, bakterilerin, diğer nano ölçekli nesneleri taşıma ve sıvıları karıştırma gibi çok çeşitli işleri yapabilen, fimbria adı verilen iplik büyüklüğündeki kolları üzerine odaklanmıştır. Bir diğer yöntem de, bakterinin yalnızca bazı bölümlerinin kullanılmasıdır. Washington Üniversitesinde Viola Vogel liderliğindeki bir araştırma grubu, farklı büyüklüklerdeki nano ölçekli tanecikleri ayıklama yeteneği gösteren koli basilinin yalnız kol ve bacaklarını kullanarak bir sistem oluşturdular. Bakteriler, çok çeşitli işlevleri yerine getirebilen doğal nano ölçekli sistemler olduklarından, bu araştırmanın son hedefi, bakteri üzerinde ters mühendislik işlemi uygulayarak, aynı tasarım ilkelerinin kendi nanobot tasarımlarımıza uygulanması olacaktır.

90 Jenny Hogan, "DNA Robot Takes Its First Steps," 6 Mayıs 2004, http://www.new scientist.com/news/news.jsp?id=ns99994958, Nadrian Seeman ve William Sherman, "A Precisely Controlled DNA Biped Walking Device," *Nano Letters* 4.7 (Temmuz 2004): 1203–1207 üzerine bildiri.

91 Helen Pearson, "Construction Bugs Find Tiny Work," *Nature News*, 11 Temmuz 2003, http://www.nature.com/news/2003/030707/full/030707-9.html.

Şişman ve Yapışkan Parmaklar

Geleceğin nano teknoloji sistemlerinin her yönüyle ilerleyen hızlı gelişimi sonucunda, Drexler'in nanobirleştirici düşüncesiyle ilgili herhangi bir önemli kusur tanımlanmamıştır. 2001 yılındaki, Nobel ödüllü Richard Smalley'nin çok reklamı yapılan ve *Scientific American* dergisinde yayımlanan itirazı, Drexler'in önerisinin çarpıtılmış bir tanımına dayanıyordu.[92] İtiraz, son on yılda yürütülen kapsamlı çalışmayı ele almıyordu. Karbon nanotüplerin öncüsü olarak Smalley, nano teknolojinin çeşitli uygulamaları konusunda oldukça hevesli davranıp, "enerji, sağlık, iletişim, ulaşım, gıda, suda giderek artan maddi gereksinimlerimizin çözümü varsa, o çözüm nano teknolojidedir," şeklinde yazmış olmakla birlikte, moleküler nano teknolojik birleşme konusunda kuşkulu kalmaktadır.

Smalley, Drexler'in birleştiricisinin her atomu tutup, taşıyıp, kurulan makineye yerleştirebilmesi için on "parmaktan" (manipülatör kollar) oluştuğunu belirtir. Smalley, ardından, bir moleküler birleştirici nano robotun içinde çalışacağı sıkışık alanda bu kadar çok parmağa yer olmadığına (buna "şişman parmaklar" sorunu deniyor) ve bu parmakların moleküler çekim güçleri nedeniyle atomdan oluşan kargolarını bırakmakta zorluk çekeceklerine ("yapışkan parmaklar" sorunu) işaret eder. Smalley ayrıca, tipik bir kimyasal tepkimede, beş ile on beş arasında atomun, "karışık bir üç boyutlu vals ... yaptıklarını" belirtir.

Gerçekte Drexler'in önerisi Smalley'nin eleştirdiği bostan korkuluğuna hiç benzemez. Drexler'in önerisi ile onu izleyen birçoklarının önerileri tek bir "parmak" kullanırlar. Ayrıca, uçlarda kullanılabilecek kimyalar için birçok tanım ve çözümleme getirilmiştir; ancak, bunların hiçbirinde, sanki atomlar yerlerine yerleştirilecek mekanik parçalarmış gibi bunların tutulup yerleştirilmesi eylemleri söz konusu değildir. Yukarıda verdiğim örnek-

92 Richard E. Smalley, "Nanofallacies: Of Chemistry, Love and Nanobots," *Scientific American* 285.3 (Eylül 2001): 76–77; bu siteye girmek için üyelik istenmektedir: http://www.sciamdigital.com/browse.cfm?sequencenameCHAR=item2&methodnameCHAR=resource_getitembrowse&interfacenameCHAR=browse.cfm&ISSU EID_CHAR=6A628AB3-17A5-4374-B100-3185A0CCC86&ARTICLEID_CHAR=F90C4210-C153-4B2F-83A1-28F2012B637&sc=I100322.

lere ek olarak (örneğin, DNA el), hidrojen atomlarının Drexler'in "soyutlanmış propinil hidrojen" ucu kullanılarak taşınabileceğinin olanaklılığı, aradan geçen yıllar içinde büyük ölçüde doğrulanmıştır.[93] 1981'de IBM'de geliştirilen tarayıcı iğne mikroskobun (SPM) ve daha ayrıntılı bir aygıt olan atomsal kuvvet mikroskobunun (AFM), molekül ölçeğinde bir yapıya sahip bir ucun belirli tepkimeleri yoluyla atomları tek tek yerleştirmesi, bu düşünceyi ek kanıtlarla desteklemektedir. Kısa süre önce Osaka Üniversitesinden bilim insanları bir atomsal kuvvet mikroskobunu kullanarak iletken olmayan atomları, elektrik yöntemi yerine mekanik yöntemle teker teker taşıdılar.[94] Hem iletken hem de iletken olmayan atom ve moleküllerin taşınması yeteneği geleceğin moleküler nano teknolojisi için gereklidir.[95]

Gerçekten de, eğer Smalley'nin eleştirileri geçerli olsaydı, hiçbirimiz burada bu konuyu tartışamazdık; çünkü biyoloji birleştiricisinin Smalley'nin söylediği şeyi yapması olanaksız olunca yaşamın kendisi de olanaksız olurdu.

Smalley ayrıca, "çılgınlar gibi çalışsa da [bir nanobotun] çok küçük miktardaki ürünü üretmesinin bile milyonlarca yıl süreceğini" söyleyerek itiraz etmektedir. Yalnızca tek bir nanobotu olan bir birleştiricinin bir ürünü kayda değer miktarlarda üretemeyeceği konusunda Smalley kuşkusuz haklıdır. Ancak nano

---

93 *Bkz.* aşağıdaki 108. ve 109. notlarda verilen kaynakça. Bu görüş için *ayrıca bkz.* Drexler, *Nanosystems*. Görüşü doğrulayan örnekler için *bkz.* Xiao Yan Chang, Martin Perry, James Peploski, Donald L. Thompson ve Lionel M. Raff, "Theoretical Studies of Hydrogen–Abstraction Reactions from Diamond and Diamond–like Surfaces," *Journal of Chemical Physics* 99 (15 Eylül 1993): 4748–4758. *Ayrıca bkz.* J. Lauhon ve W. Ho, "Inducing and Observing the Abstraction of a Single Hydrogen Atom in Bimolecular Reaction with a Scanning Tunneling Microscope," *Journal of Physical Chemistry* 105 (2000): 3987–3992; G. Allis ve K. Eric Drexler, "Design and Analysis of a Molecular Tool for Carbon Transfer in Mechanosynthesis," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* 2.1 (Mart–Nisan 2005, yayına hazırlanıyor).

94 Lea Winerman, "How to Grab an Atom," *Physical Review Focus*, 2 Mayıs 2003, http://focus.aps.org/story/v11/st19, Noriaki Oyabu, "Mechanical Vertical Manipulation of Selected Single Atoms by Soft Nanoindentation Using a Near Contact Atomic Force Microscope," *Physical Review Letters* 90.17 (2 Mayıs 2003): 176102 üzerine bildiri.

95 Robert A. Freitas Jr., "Technical Bibliography for Research on Positional Mechanosynthesis," Foresight Enstitüsü web sitesi, 16 Aralık 2003, http://foresight.org/stage2/mechsynthbib.html.

teknolojinin temel düşüncesi, anlamlı sonuçlar elde edebilmek için trilyonlarca nanobot kullanılmasıdır; üzerinde bu kadar çok durulan güvenlik kaygılarının kaynağı da zaten budur. Bu kadar çok sayıda nanobotun kabul edilebilir maliyetlerle yapılabilmesi belli düzeylerde kendiliğinden kopyalanma işlemini gerektirecek, bu da ekonomik sorunları çözmekle birlikte, beraberinde, sekizinci bölümde ele alacağım potansiyel olarak ciddi tehlikeleri getirecektir. Biyoloji de trilyonlarca organizmayı oluştururken aynı çözümü kullanır; işin gerçeği, hemen hemen tüm hastalıklar, biyolojinin kendiliğinden kopyalanma işlemindeki tersliklerden kaynaklanmaktadır.

Nano teknolojinin temelini oluşturan düşüncelerin önündeki ilk zorluklar da etkili biçimde ele alınmıştır. Eleştirmenler, nanobotların, çekirdek, atom ve moleküllerden gelen termal titreşim bombardımanıyla karşı karşıya kalacağına işaret etmişlerdi. Bu, kavramsal nano teknoloji tasarımcılarının yapısal unsurların elmas ya da karbon nanotüplerden yapılmasının önemini vurgulamalarının nedenlerinden biridir. Bir sistemin gücünün ya da bükülmezliğinin artırılması, termal etkilere karşı duyarlılığını azaltır. Yapılan çözümlemeler, bu tasarımların termal etkiler karşısında biyolojik sistemlerden binlerce kat daha dayanıklı olduklarını göstermiştir; yani bu tasarımlar, biyolojik sistemlerden çok daha geniş bir ısı aralığında çalışabilmektedir.[96]

Nano mühendislik ürünü aygıtların boyutlarının son derece küçük olmasına dayanarak, kuantum etkilerinin belirsizliğini savunan benzer karşı çıkışlar olmuştur. Kuantum etkileri elektronlar için önemlidir, ama tek bir karbon atomu çekirdeği bir elektrondan yirmi bin kat daha büyüktür. Bir nanobotun yapımında milyonlarca ya da milyarlarca karbon ve başka atomlar kullanılacak, bu da nanobotu bir elektrondan trilyonlarca kez daha etkili kılacaktır. Kuantumun konumsal belirsizliğinde kullanılan temel denkleme yerleştirildiğinde, bu oranın çok önemsiz bir etmen olduğu ortaya çıkacaktır.[97]

---

96 *Bkz*. Ralph C. Merkle, "That's Impossible! How Good Scientists Reach Bad Conclusions," s. 3'teki denklem ve açıklamalar; http://www.zyvex.com/nanotech/impossible.html.

97 "Böylece ΔXC, tipik bir atom elektron bulutunun çapı olan yaklaşık 0,3 nm'nin yaklaşık %5'idir, nanomekanik yapıların üretimi ve güvenilirliğine

Güç ise bir başka zorluğu ortaya çıkarmıştır. Glikoz–oksijen yakıt hücrelerini kullanan öneriler, Freitas ve diğerlerinin fizibilite çalışmalarında desteklenmiştir.[98] Glikoz–oksijen yönteminin bir avantajı, nanotıp uygulamalarının, insanın sindirim sisteminin zaten sağladığı glikoz, oksijen ve ATP kaynaklarını dizginleyerek, bunlardan yararlanabilmesidir. Son dönemlerde, nikelden yapılmış ATP tabanlı bir enzimle çalıştırılan pervaneler kullanılarak nano ölçekli bir motor üretildi.[99] Ancak, MEMS ölçeğinde, hatta nano ölçekte hidrojen–oksijen yakıt hücrelerinin uygulamasında son zamanlarda kaydedilen ilerleme, aşağıda açıkladığım alternatif bir yöntemi ortaya koydu.

Tartışma Kızışıyor

Drexler Nisan 2003'te, Smiley'nin *Scientific American* dergisinde yayımladığı makalesini bir açık mektupla karşılık verdi.[100] Kendisinin ve başkalarının son yirmi yılda yürüttüğü araştırmaları alıntılayarak, mektubunda özellikle Smalley'nin şişman ve yapışkan parmaklar konusundaki itirazlarını yanıtladı. Yukarıda irdelediğim gibi, moleküler birleştiriciler hiçbir zaman parmaklı olarak tanımlanmamış; reaktif moleküllerin tam olarak konumlanmalarına dayandıkları açıklanmıştır. Drexler, doğru moleküler birleşmenin doğal yaşamdaki örnekleri olarak biyolojik enzimleri ve ribozomları alıntıladığı mektubunu, Smalley'nin kendi gözle-

---

ek çok küçük bir sınırlama getirir. (Çoğu sıvının kaynama noktasında, her molekül yaklaşık konumundan yalnızca yaklaşık 0,07 nm uzağa gidebilecek özgürlüğe sahiptir.)" Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 2.1, "Is Molecular Manufacturing Possible?" (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 39, http://www.nanomedicine.com/NMI/2.1.htm#p9.

98 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 6.3.4.5, "Chemoelectric Cells," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 152–54, http://www.nanomedicine.com/NMI/6.3.4.5.htm.

99 Montemagno ve Bachand, "Constructing Nanomedical Devices Powered by Biomolecular Motors."

100 Foresight Enstitüsü başkanı K. Eric Drexler'den Nobel ödülü sahibi Richard Smalley'e açık mektup, http://www.foresight.org/NanoRev/Letter.html, şu adreste yeniden yayımlanmıştır: http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0560.html. Yazının tamamı, Ray Kurzweil, "The Drexler–Smalley Debate on Molecular Assembly," http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art 0604.html adresinde bulunabilir.

mini aktararak bitirir: "Bir bilim insanı bir şeyin mümkün olduğunu söylediğinde büyük olasılıkla o şeyin gerektireceği süreyi azımsamaktadır. Ama olanaksız olduğunu söylediğinde, büyük olasılıkla yanılıyordur."

Bu tartışma 2003 yılında üç kez daha gündeme geldi. Smalley, Drexler'in açık mektubuna verdiği yanıtta, şişman ve yapışkan parmaklar itirazlarında geri adım atıp, enzim ve ribozomların gerçekten de Smalley'nin daha önce olanaksız olduğunu söylediği biçimde tam moleküler birleşme işlemini yürütebileceklerini kabul etti. Smalley ardından, biyolojik enzimlerin yalnızca suda iş gördüklerini, bu su tabanlı kimyanın da yalnızca "tahta, et ve kemik" gibi biyolojik yapılarla sınırlı olduğunu ileri sürdü. Drexler'in belirttiği gibi bu da hatalıdır.[101] Birçok enzim, normal olarak suda çalışanlar bile, susuz organik çözücülerde de çalışabilir, bazı enzimler ise hiç su olmadan, buhar evresinin alt katmanlarda iş görebilirler.[102]

Smalley, enzim benzeri tepkimelerin yalnızca biyolojik enzimlerde ve su içeren kimyasal tepkimelerde oluşabileceğini belirtir (herhangi bir kaynak ya da alıntı vermeden). Bu da yanlıştır. MIT'nin kimya ve biyoloji mühendisliği profesörlerinden Alexander Klibanov, bu tür su içermeyen enzim katalizörlerini 1984 yılında kanıtlamıştır. Klibanov, 2003'te, "Belli ki [Smalley'nin] susuz enzim katalizörleri hakkında söyledikleri doğru değildir. İlk olarak 20 yıl önce bizim bildirimizin yayımlanmasından bu yana su içermeyen enzim katalizörleri hakkında yüzlerce, belki de binlerce bildiri yayımlanmıştır," demiştir.[103]

Biyolojik evrimin neden su tabanlı kimyayı benimsediğini anlamak kolaydır. Su, gezegenimizde bol bulunan bir maddedir; bedenimizin, besinlerimizin, hatta tüm organik maddelerin yüz-

---

101 K. Eric Drexler ve Richard E. Smalley, "Nanotechnology: Drexler and Smalley Make the Case for and Against 'Molecular Assemblers'," *Chemical & Engineering News* 81.48 (1 Aralık 2003): 37-42, http://pubs.acs.org/cen/coverstory/8148/8148 counterpoint.html.

102 A. Zaks ve A. M. Klibanov, "Enzymatic Catalysis in Organic Media at 100 Degrees C," *Science* 224.4654 (15 Haziran 1984): 1249–1251.

103 Patrick Bailey, "Unraveling the Big Debate About Small Machines," *BetterHumans*, 16 Ağustos 2004, http://www.betterhumans.com/Features/Reports/report.aspx? article-ID=2004-08-16-1.

de 70 ile yüzde 90 arası bölümünü oluşturur. Suyun üç boyutlu elektrik nitelikleri oldukça güçlüdür, diğer bileşiklerin güçlü kimyasal bağlarını koparabilir. Su, "evrensel çözücü" olarak kabul edilir. Bedenimizdeki biyokimyasal geçitlerin çoğunda bulunduğu için de, gezegenimizdeki yaşamın kimyasını temelde suyun kimyası olarak düşünebiliriz. Ancak, teknolojimizin asıl atılımı, temelinde yalnızca su tabanlı kimya ve proteinleri kullanan biyolojik evrimin getirdiği kısıtlamalarla sınırlı kalmayan sistemlerin geliştirilmesi olmuştur. Biyolojik sistemler uçabilir, ama eğer on bin metre yükseklikte saatte binlerce kilometre hızla uçmak isterseniz, proteinleri değil modern teknolojimizi kullanırsınız. İnsan beyni gibi biyolojik sistemler anımsayabilir, hesap yapabilir, fakat milyarlarca maddelik bilgi üzerinde veri sondajı yapmak isterseniz, yalnızca destek almayan insan beynini değil elektronik teknoloji kullanmak istersiniz.

Smalley, tam bir kesinlikle yönlendirilmiş moleküler tepkimeler kullanılarak molekül parçalarının konumlandırılmasının alternatif yolları üzerine son on yılda yürütülen araştırmaları göz ardı etmektedir. Elmassı maddenin tam kontrollü sentezi, tek bir hidrojen atomunun hidrojenlenmiş elmas yüzeyden alınması[104] ve elmas yüzeye bir ya da daha fazla sayıda karbon atomunun eklenmesi[105] yetenekleri de dahil, ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Hid-

---

104 Charles B. Musgrave vd, "Theoretical Studies of a Hydrogen Abstraction Tool for Nanotechnology," *Nanotechnology* 2 (Ekim 1991): 187–195; Michael Page ve Donald W. Brenner, "Hydrogen Abstraction from a Diamond Surface: Ab initio Quantum Chemical Study with Constrained Isobutane as a Model," *Journal of the American Chemical Society* 113.9 (1991): 3270–3274; Xiao Yan Chang, Martin Perry, James Peploski, Donald L. Thompson ve Lionel M. Raff, "Theoretical Studies of Hydrogen-Abstraction Reactions from Diamond and Diamond-like Surfaces," *Journal of Chemical Physics* 99 (15 Eylül 1993): 4748–4758; J. W. Lyding, K. Hess, G. C. Abeln, vd, "UHV–STM Nanofabrication and Hydrogen/Deuterium Desorption from Silicon Surfaces: Implications for CMOS Technology," *Applied Surface Science* 132 (1998): 221; http://www.hersam-group.northwestern.edu/publications.html; E. T. Foley vd, "Cryogenic UHV–STM Study of Hydrogen and Deuterium Desorption from Silicon(100)," *Physical Review Letters* 80 (1998): 1336–1339, http://prola.aps.org/abstract/PRL/ v80/i6/p1336_1; L. J. Lauhon ve W. Ho, "Inducing and Observing the Abstraction of a Single Hydrogen Atom in Bimolecular Reaction with a Scanning Tunneling Microscope," *Journal of Physical Chemistry* 105 (2000): 3987–3992.

105 Stephen P. Walch ve Ralph C. Merkle, "Theoretical Studies of Diamond Mechanosynthesis Reactions," *Nanotechnology* 9 (Eylül 1998): 285–296; Fedor

rojen sökümünün ve tam olarak yönlendirilmiş elmas sentezinin uygulanabilirliğini destekleyen ilgili araştırmalar, California Teknoloji Enstitüsünün Malzeme ve İşlem Simülasyon Merkezinde, Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesinin Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde, Kentucky Üniversitesinin Moleküler Üretim Enstitüsünde, ABD Deniz Harp Akademisinde ve Xerox'un Palo Alto Araştırma Merkezinde yürütüldü.[106]

Smalley, yukarıda adı geçen, iyi yapılandırılmış, tam kontrollü moleküler tepkimeleri kullanan tarayıcı iğne mikroskobun sözünü etmekten de kaçınır. Bu kavramlara dayanan Ralph Merkle, dört tepkene kadar kapsayabilen olası uç tepkimeleri betimlemiştir.[107] Tam olarak yönlendirilme potansiyeli taşıyan, dolayısıyla da bir moleküler düzenleyici ucunun kimyasında uygulanabilecek, konuma özgü tepkimeler hakkında çok kapsamlı yayınlar vardır.[108]

N. Dzegilenko, Deepak Srivastava ve Subhash Saini, "Simulations of Carbon Nanotube Tip Assisted Mechano-Chemical Reactions on a Diamond Surface," *Nanotechnology* 9 (Aralık 1998): 325–330; Ralph C. Merkle ve Robert A. Freitas Jr., "Theoretical Analysis of a Carbon-Carbon Dimer Placement Tool for Diamond Mechanosynthesis," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 3 (Ağustos 2003): 319–324, http://www.rfreitas.com/Nano/DimerTool.htm; Jingping Peng, Robert A. Freitas Jr. ve Ralph C. Merkle, "Theoretical Analysis of Diamond Mechano-Synthesis. Part I. Stability of C2 Mediated Growth of Nanocrystalline Diamond C(1 10) Surface," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* 1 (Mart 2004): 62–70, http://www.molecularassembler.com/JCTNPengMar04.pdf; David J. Mann, Jingping Peng, Robert A. Freitas Jr, ve Ralph C. Merkle, "Theoretical Analysis of Diamond MechanoSynthesis. Part II. C2 Mediated Growth of Diamond C(1 10) Surface via Si/Ge-Triadamantane Dimer Placement Tools," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* 1 (Mart 2004), 71–80, http://www.molecularassembler.com/JCTNMannMar04.pdf.

106 Hidrojen soyutlama aracı ve karbon çöktürme araçlarının çözümlemesi, aralarında Donald W. Brenner, Tahir Çağın, Richard J. Colton, K. Eric Drexler, Fedor N. Dzegilenko, Robert A. Freitas Jr., William A. Goddard III, J. A. Harrison, Charles B. Musgrave, Ralph C. Merkle, Michael Page, Jason K. Perry, Subhash Saini, O. A. Shenderova, Susan B. Sinnott, Deepak Srivastava, Stephen P. Walch ve Carter T. White'ın da bulunduğu birçok kişi tarafından ele alınmıştır.

107 Ralph C. Merkle, "A Proposed 'Metabolism' for a Hydrocarbon Assembler," *Nanotechnology* 8 (Aralık 1997): 149–162, http://www.iop.org/EJ/abstract/09574484/8/4/001 ya da http://www.zyvex.com/nanotech/hydroCarbonMetabolism.html.

108 Yararlı bir başvuru kaynakçası: Robert A. Freitas Jr., "Technical Bibliography for Research on Positional Mechanosynthesis," Foresight Enstitüsü web sitesi, 16 Aralık 2003, http://foresight.org/stage2/mechsynthbib.html;

Son dönemlerde, tarayıcı iğne mikroskoplarının da ilerisine geçerek, atomları ve molekül parçacıklarını güvenle yönlendirebilen birçok araç bulunmuştur.

3 Eylül 2003 günü Drexler, Smalley'nin ilk mektubuna verdiği yanıta, Smalley'nin dikkate almadığı kapsamlı yazını üstü kapalı olarak bir kez daha anımsatarak karşılık verdi.[109] Drexler yanıtın-

---

Wilson Ho ve Hyojune Lee, "Single Bond Formation and Characterization with a Scanning Tunneling Microscope," *Science* 286.5445 (26 Kasım 1999): 1719–1722, http://www.physics.uci.edu/~wilsonho/stm-iets.html; K. Eric Drexler, *Nanosystems*, 8. bölüm; Ralph Merkle, "Proposed 'Metabolism' for a Hydrocarbon Assembler"; Musgrave vd, "Theoretical Studies of a Hydrogen Abstraction Tool for Nanotechnology"; Michael Page ve Donald W. Brenner, "Hydrogen Abstraction from a Diamond Surface: Ab initio Quantum Chemical Study with Constrained Isobutane as a Model," *Journal of the American Chemical Society* 113.9 (1991): 3270-3274; D. W. Brenner vd, "Simulated Engineering of Nanostructures," *Nanotechnology* 7 (Eylül 1996): 161–167, http://www.zyvex.com/nanotech/nano4/brennerPaper.pdf; S. P. Walch, W. Goddard III ve Ralph Merkle, "Theoretical Studies of Reactions on Diamond Surfaces," Beşinci Foresight Moleküler Nano teknoloji Konferansı, 1997, http://www.foresight.org/Conferences/MNT05/Abstracts/Walcabst.html; Stephen P. Walch ve Ralph C. Merkle, "Theoretical Studies of Diamond Mechanosynthesis Reactions," *Nanotechnology* 9 (Eylül 1998): 285–296; Fedor N. Dzegilenko, Deepak Srivastava ve Subhash Saini, "Simulations of Carbon Nanotube Tip Assisted Mechano–Chemical Reactions on a Diamond Surface," *Nanotechnology* 9 (Aralık 1998): 325–330; J. W. Lyding vd, "UHVSTM Nanofabrication and Hydrogen/Deuterium Desorption from Silicon Surfaces: Implications for CMOS Technology," *Applied Surface Science* 132 (1998): 221, http://www.hersam-group.northwestern.edu/publications.html; E. T. Foley vd, "Cryogenic UHV–STM Study of Hydrogen and Deuterium Desorption from Silicon(100)," *Physical Review Letters* 80 (1998): 1336–1339, http://prola.aps.org/abstract/PRL/v80/i6/p1336_1; M. C. Hersam, G. C. Abeln ve J. W. Lyding, "An Approach for Efficiently Locating and Electrically Contacting Nanostructures Fabricated via UHV–STM Lithography on Si(100)," *Microelectronic Engineering* 47 (1999): 235–237; L. J. Lauhon ve W. Ho, "Inducing and Observing the Abstraction of a Single Hydrogen Atom in Bimolecular Reaction with a Scanning Tunneling Microscope," *Journal of Physical Chemistry* 105 (2000): 3987–3992, http://www.physics.uci.edu/~wilsonho/stm-iets.html.

109 Eric Drexler, "Drexler Counters," KurzweilAI.net'de ilk kez 1 Kasım 2003'te yayımlanmıştır: http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0606.html. *Ayrıca bkz.* K. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation* (New York: Wiley Interscience, 1992), 8. bölüm; Ralph C. Merkle, "Foresight Debate with Scientific American" (1995), http://www.foresight.org/SciAmDebate/SciAmResponse.html; Wilson Ho ve Hyojune Lee, "Single Bond Formation and Characterization with a Scanning Tunneling Microscope," *Science* 286. 5445 (26 Kasım 1999): 1719–1722, http://www.physics.uci.edu/~wilsonho/stm-iets.html; K. Eric Drexler,

da, modern bir fabrika benzetmesini nano ölçekte betimliyordu. Geçiş durumu kuramı üzerine çözümlemeleri aktararak, konumsal denetimin megahertz frekanslarda doğru seçilmiş tepkenler için uygulanabilir olacaklarını belirtiyordu.

Smalley bunu yine belirli örneklemeleri, güncel araştırmaları eksik ancak özensiz eğretilemeleri bol bir mektupla yanıtladı.[110] Örneğin, "bir kızla bir oğlanı birbirlerine doğru itivererek âşık olmalarını sağlayamadığınız gibi, basit bir mekanik devinimle iki moleküler nesne arasında istenen kimyanın tam olarak oluşmasını da sağlayamazsınız.... İki moleküler nesneyi pelteleştirip karıştırıvermekle olmaz [bu]," diye yazıyordu. Smalley, yine enzimlerin bir işi başardıklarını kabul etmekte, ancak bu tür tepkimelerin biyolojik sistemlerin dışında gerçekleşebileceklerini kabul etmeyi reddetmektedir: "Sizi ... gerçek enzimlerle yapılan gerçek biyoloji hakkında konuşmaya çekmemin nedeni budur. ... Bu türden herhangi bir sistemin sıvı ortama gereksinimi vardır. Bildiğimiz enzimler için bu sıvı su olmalıdır, çevresindeki suyla yapay olarak işlenebilecek türden olanlar biyolojinin etiyle kemiğinden daha kapsamlı olamaz."

Smalley'nin savı, "Bugün elimizde X yok, onun için X mümkün değil," biçimindedir. Yapay zekâ alanında bu tip savlarla tekrar tekrar karşılaşıyoruz. Eleştirmenler, bugünün sistemlerinin sınırlarını, bu türden sınırlamaların doğal olarak var olduğunun ve aşılamayacağının kanıtı saymaktalar. Bu eleştirmenler, örneğin, yapay zekânın çağdaş örneklerinin daha on yıl önce araştırma programlarının konusuyken, bugün ticari olarak piyasada sunularak kullanılan sistemleri içeren kapsamlı listesini (*bkz.* s. 250'deki "Bir Dar Yapay Zekâ Örnekleyicisi" bölümü) göz ardı etmektedirler.

Bizim gibi, sağlam temelleri olan yöntemlere dayanarak geleceği öngörmeye çalışanlarsa dezavantajlı durumdadır. Geleceğe ait belli gerçekler kaçınılmaz olabilse de, henüz ortada görülme-

David Forrest, Robert A. Freitas Jr., J. Storrs Hall, Neil Jacobstein, Tom McKendree, Ralph Merkle ve Christine Peterson, "On Physics, Fundamentals, and Nanorobots: A Rebuttal to Smalley's Assertion that Self-Replicating Mechanical Nanorobots Are Simply Not Possible: A Debate About Assemblers" (2001), http://www.imm.org/SciAmDebate2/smalley.html.

110 *Bkz.* http://pubs.acs.org/cen/coverstory/8148/8148counterpoint.html; http://www.kurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0604.html?.

diklerinden yadsınmaları kolaydır. Yirminci yüzyılın başında ortaya çıkan küçük bir düşünce, havadan ağır cisimlerin uçmasının mümkün olduğunu ileri sürmüş, ama başlıca kuşkucular buna ancak eğer mümkünse neden daha önce yapılmamış olduğunu sorarak karşılık verebilmişlerdir.

Smalley, son mektubunun sonunda yazdığı şu sözlerle, en azından düşüncesinin nedenlerinden bazılarını açıklamaktadır:

> Birkaç hafta önce, burada, Houston bölgesinde büyük bir devlet okulu olan Spring Branch ISD'nin yaklaşık 700 orta ve lise öğrencisine, nano teknoloji ve enerji üzerine "Be a Scientist, Save the World" ["Bilim İnsanı Ol, Dünyayı Kurtar"] başlıklı bir konuşma yaptım. Ziyaretimden önce öğrencilerden, "neden bir nano delisiyim" konulu bir kompozisyon yazmaları istendi. Buna yüzlerce öğrenci yanıt verdi, bunlardan en iyi otuzunu okuyup içlerinden en beğendiğim beşini seçme ayrıcalığım oldu. Okuduğum kompozisyonların hemen hemen yarısı, kendiliğinden kopyalanan nanobotların mümkün olduğunu varsayıyor, gelecekte, bu nanobotlar dünyanın dört bir yanına yayıldıklarında ne yapacaklarının kaygısını yaşıyorlardı. Korkularını gidermek için elimden geleni yaptım ama bu gençlerin birçoğunun gerçekten kaygı verici öyküler dinlediklerine kuşku yok.
>
> Siz ve çevrenizdekiler çocuklarımızı ürküttünüz.

Smalley'ye daha önce de eleştirmenlerin, dünya çapında iletişim ağlarının ya da bu ağlara yayılacak yazılım virüslerinin mümkün olduğu konusunda kuşkularını belirtmiş olduklarına işaret etmek isterim. Bugün, bu olanakların hem yararlarını hem de kırılganlığını yaşıyoruz. Ancak, yazılım virüsleri tehlikesinin baş göstermesiyle birlikte teknolojik bağışıklık sistemi de ortaya çıktı. Umut ve tehlikenin iç içe geçtiği bu son örnekten elde ettiğimiz kazanç, uğradığımız zarardan çok daha fazladır.

Smalley'nin geleceğin bu teknolojisinin kötüye kullanılma potansiyeli hakkında topluma güvence verme yaklaşımı doğru strateji değildir. Nano teknoloji tabanlı birleşmenin mümkün olduğunu yadsıyarak, Smalley aynı zamanda bu teknolojinin taşıdığı potansiyeli de yadsımaktadır. Moleküler birleşmenin vaat ettik-

lerinin ve taşıdığı risklerin yadsınması yaklaşımı sonunda geri tepecek, araştırmalar gereksinildiği gibi yapıcı yönde yönlendirilemeyecektir. 2020'li yıllarda moleküler birleşme, yoksullukla etkin mücadele, çevrenin temizlenmesi, hastalıkların üstesinden gelinmesi, insan ömrünün uzatılması ve daha amaçlanan birçok yararlı konu için gerekli araçları sağlayacaktır. İnsanların yarattığı tüm diğer teknolojiler gibi, bu teknoloji de yıkıcı yanımızı güçlendirip etkinleştirmek için kullanılabilecektir. Önemli olan, vaat ettiği köklü yararları kazanıp, tehlikelerinden kaçınabilmek için bu teknolojiye bilerek yaklaşmamızdır.

İlk Benimseyenler

Drexler'in nano teknoloji kavramı temel olarak üretimde kesin molekül denetimini ele almış olsa da, bu kavram genişleyerek, ana özelliklerin birkaç (çoğunlukla yüzden az) nanometreyle ölçülebildiği her tür teknolojiyi de kapsamına almıştır. Tıpkı çağdaş elektroniğin dünyamıza sessizce girivermesi gibi, biyoloji ve tıp alanındaki uygulamalarda da, daha etkili test ve sağaltım yöntemleri için nano ölçekli nesnelerin geliştirildiği nanoparçacıklar dönemi şimdiden başlamış bulunuyor. Nanoparçacıklar, birleştiriciler yerine istatistiksel üretim yöntemleriyle oluşturulsalar da, bunların sonuçları atom ölçeğindeki özelliklerine bağlıdır. Örneğin, deneysel biyoloji testlerinde, protein gibi maddeleri saptama duyarlılığını geliştirmek amacıyla, im ve marka olarak nanoparçacıklar kullanılmakta. Örneğin, manyetik nanoetiketler antikorlarla bağlanmak için kullanılabilmekte, manyetik bir uçla daha bedenin içindeyken okunabilmekte. DNA katmanlarına bağlı olan ve bir örnekteki belirli DNA dizilerini hızlıca testten geçirebilen altın nanoparçacıklarla başarılı deneyler yürütülmüştür. Kuantum noktaları adı verilen küçük kristaller, renkli barkotlar gibi farklı renkleri birleştirecek biçimde belirli kodlarla programlanabilmekte, böylece bedenin içindeki maddelerin izlenmesi kolaylaştırılmaktadır.

Yeni geliştirilmekte olan ve bünyesinde nano ölçekli kanallar barındıran mikro akışkan aygıtlar, belirlenen bir maddenin çok küçük örnekleri üzerinde yüzlerce testi aynı anda yürütebilmektedir. Bu aygıtlar, örneğin, neredeyse görülemez kan örnekleri üzerinde kapsamlı testlerin yürütülebilmesini sağlayacaktır.

Deri gibi biyolojik dokuların büyümesinde nano ölçekli iskeleler kullanılmıştır. Bu çok küçük iskeleler, gelecekte uygulanacak sağaltım yöntemlerinde de bedenin içini onarmak için gereken dokuların üretilmesinde kullanılabilir.

Özellikle heyecan verici bir uygulama, nanoparçacıkların bedenin belirli yerlerine sağaltım götürmek üzere yönlendirilmeleridir. Nanoparçacıklar, ilaçları hücre duvarlarına ve kan–beyin engelinin içinden geçmek üzere yönlendirebilirler. Montreal'deki McGill Üniversitesinden bilim insanları, 25–45 nanometre aralığında yapılara sahip bir nano hap yaptıklarını açıkladılar.[111] Hücre duvarının içinden geçebilecek kadar küçük olan bu nano hapla ilaç doğrudan hücrenin içinde hedeflenen yapılara gönderilmektedir.

Japon bilim insanları 110 amino asit molekülünden oluşan ve her biri ilaç molekülü taşıyan nano kafesler ürettiler. Her nanokafesin yüzeyine yapışık, insan bedeninde hedeflenen bölgelere bağlanan bir peptit bulunuyor. Bilim insanları bir deneyde, insanın karaciğer hücrelerindeki belirli bir reseptöre bağlanan bir peptiti kullandılar.[112]

Bedford, Massachusetts'te bulunan MicroCHIPS şirketi, derinin altına yerleştirilerek, aygıtın içinde bulunan yüzlerce nano ölçekli kuyudan aldığı kesin doğruluktaki ilaç karışımlarını yerine ulaştıran bir bilgisayarlı aygıt geliştirdi.[113] Bu aygıtın gelecekte üretilecek modellerinin, glikoz gibi maddelerin kan düzeylerini ölçebilecekleri tahmin ediliyor. Sistem, kanın glikoz tepkimesine göre tam insülin miktarlarını salgılayacak bir yapay pankreas

---

111 D. Maysinger vd, "Block Copolymers Modify the Internalization of Micelle-Incorporated Probes into Neural Cells," *Biochimica et Biophysica Acta* 1539.3 (20 Haziran 2001): 205–217; R. Savic vd, "Micellar Nanocontainers Distribute to Defined Cytoplasmic Organelles," *Science* 300.5619 (25 Nisan 2003): 615–618.

112 T. Yamada vd, "Nanoparticles for the Delivery of Genes and Drugs to Human Hepatocytes," *Nature Biotechnology* 21.8 (Ağustos 2003): 885–890. 29 Haziran 2003'de elektronik olarak yayımlanmıştır. Özet: http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nbt/journal/v21/n8/abs/nbt843.html. *Nature* dergisinin kısa basın bülteni: http://www.nature.com/nbt/press_release/nbt0803.html.

113 Richards Grayson vd, "A BioMEMS Review: MEMS Technology for Physiologically Integrated Devices," *IEEE Proceedings* 92 (2004): 6–21; Richards Grayson vd, "Molecular Release from a Polymeric Microreservoir Device: Influence of Chemistry, Polymer Swelling, and Loading on Device Performance," *Journal of Biomedical Materials Research* 69A.3 (1 Haziran 2004): 502–512.

olarak kullanılabilir. Ayrıca, diğer her tür hormon üreten organı da simüle edebilecek yeteneğe sahip olacaktır. Eğer denemeler sorunsuz giderse, bu sistem 2008 yılında piyasaya çıkarılabilecek.

Yenilikçi bir başka öneri de altın nanoparçacıkları bir tümörün bulunduğu yere yönlendirip, bu parçacıkları kızılaltı ışınlarla ısıtarak kanserli hücrelerin yok edilmesidir. İlaç taşıyacak biçimde tasarlanacak nano ölçekli paketler, taşıdıkları ilacı sindirim sistemi boyunca koruyarak belirli noktalara taşıyıp, bedenin dışından komut alabilme özelliği gibi çeşitli gelişmiş yöntemlerle ilaçları serbest bırakabilirler. Florida'nın Alachua kentinde bulunan Nanotherapeutics şirketi, bu yöntemi kullanan ve yalnızca birkaç nanometre kalınlığında, biyolojik olarak parçalanabilir bir polimer geliştirdi.[114]

Tekilliğin Enerji Gücü

Bugün dünyada yaklaşık 14 trilyon (yaklaşık 10^{13}) vat enerji üretiyoruz. Bu enerjinin yüzde 33'ü petrolden, yüzde 25'i kömürden, yüzde 20'si gazdan, yüzde 7'si nükleer reaktörlerden, yüzde 15'i biyokütle ve hidroelektrik kaynaklarından, yalnızca yüzde 0,5'i de yenilenebilir güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji teknolojilerinden elde ediliyor.[115] Hava kirlenmesi, su kirlenmesi ve diğer türden kirlenmelere önemli katkılar, enerjimizin fosil yakıtlardan elde edilen yüzde 78'inin çıkarılması, taşınması, işlenmesi ve kullanılması sonucunda oluşmakta. Petrolden elde edilen enerji ayrıca jeopolitik gerginliğe de katkıda bulunmakta, bu enerjinin tamamına da yılda 2 trilyon dolar gibi küçük bir fiyat etiketi konmaktadır. Bugün enerji üretiminde egemen olan endüstri çağı enerji kaynaklarının verimliliği nano teknoloji tabanlı çıkarma, dönüştürme ve iletim yöntemleriyle artacak olmakla birlikte, gelecekte enerji artışını destekleyecek olan yenilenebilir sınıf olacaktır.

---

114 D. Patrick O'Neal vd, "Photo-thermal Tumor Ablation in Mice Using Near Infrared-Absorbing Nanoparticles," *Cancer Letters* 209.2 (25 Haziran 2004): 171-176.

115 Uluslararası Enerji Kurumu, R. E. Smalley'nin bir sunumundan, "Nanotechnology, the S&T Workforce, Energy & Prosperity," s. 12, PCAST'de sunulmuştur (Başkanın Bilim ve Teknoloji Danışmanları Kurulu), Washington, D.C., 3 Mart 2003, http://www.ostp.gov/PCAST/ PCAST%203-3-03%20R%20Smalley%20 Slides.pdf; ayrıca http://cohesion.rice.edu/NaturalSciences/Smalley/emplibrary/PCAST%20March%203,%202003.ppt.

2030 yılına gelindiğinde bilgi işlem ve iletişimin fiyat performansı, bugüne kıyasla on ile yüz milyon kat arasında artmış olacak. Diğer teknolojiler de kapasite ve verimlilik açısından çok büyük artışlar yaşayacaktır. Ancak enerji gereksinimleri, aşağıda irdelediğim gibi enerjinin kullanım verimliliğinin büyük oranda artması nedeniyle teknolojilerin kapasitelerine göre çok daha yavaş artacaktır. Nano teknoloji devriminin yol açacağı temel sonuçlardan biri, üretim ve enerji gibi fiziksel teknolojilerin, ivmelenen getiriler yasasına tabi olmasıdır. Enerji dahil tüm teknolojiler özünde bilgi teknolojisi olacaktır.

Bütün dünyadaki enerji gereksiniminin, 2030 yılına gelindiğinde iki katına çıkacağı tahmin ediliyor. Teknolojinin sağlayacağı olanaklarda beklenen büyüme bir yana, enerjide öngörülen bu artış, beklenen ekonomik büyümenin bile çok altındadır.[116] Gereksinilen ek enerjinin büyük bölümü büyük olasılıkla nano ölçekteki yeni güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji teknolojileriyle elde edilecektir. Günümüzde kullanılan çoğu enerji kaynağının, o ya da bu biçimde güneş enerjisinden elde edildiğinin farkına varmak önemlidir.

Fosil yakıtları, güneş enerjisinin hayvanlar, bitkiler tarafından ve ilişkili diğer süreçler yoluyla milyonlarca yıl boyunca dönüştürülmesi (fosil yakıtı kaynağının canlı organizmalar olduğunu söyleyen kuram son dönemlerde tartışma konusu olsa bile) sonucunda depolanan enerjiyle oluşmaktadır. Ama kaliteli petrol kuyularından petrol çıkarma işlemleri potansiyel zirveye ulaşmış, bazı uzmanlara göre inişe geçmeye başlamıştır. Her durumda, erişimi kolay fosil yakıtları hızla tükettiğimiz açıktır. Daha gelişmiş teknolojilerle temiz, verimli biçimde çıkarabileceğimiz çok daha büyük fosil yakıtı kaynaklarımız vardır (kömür ve şist yağı gibi), bunlar enerjinin geleceğinin bir parçası olacaktır. Şu anda yapılmakta olan FutureGen adlı milyar dolar değerindeki örnek tesisin, dünyanın fosil yakıta dayanan ilk sıfır emisyonlu enerji tesisi olması bekleniyor.[117] Bugün olduğu gibi doğrudan kömür yakmak yerine, bu 275 milyon vatlık tesis kömürü, hidrojen ve

116 Smalley, "Nanotechnology, the S&T Workforce, Energy & Prosperity."

117 "FutureGen—A Sequestration and Hydrogen Research Initiative," ABD Enerji Bakanlığı, Fosil Enerjisi Dairesi, Şubat 2003, http://www.fossil.energy.gov/programs/powersystems/futuregen/futuregen_factsheet.pdf.

karbon monoksitten oluşan bir sentetik gaza dönüştürecek, buharla etkileşime giren sentetik gaz, yalıtılacak olan ayrık hidrojen ve karbondioksit akımlarını üretecektir. Bu hidrojen daha sonra yakıt hücrelerinde kullanılabilir ya da başka yollarla elektrik ve suya dönüştürülebilir. Tesisin tasarımının temelinde, hidrojen ile karbondioksiti ayrıştıran yeni membran malzemeler vardır.

Ancak, öncelikle odaklanacağımız konu, nano teknolojinin mümkün kılacağı temiz, yenilenebilir, dağıtık ve güvenli enerji teknolojilerinin geliştirilmesi olacaktır. Son dönemde enerji teknolojileri, endüstri çağının S eğrisinin yavaş yükselen kısmında (kapasitenin yavaş yavaş asimptota ya da sınıra ulaştığı belirli bir teknoloji paradigmasının son evrelerinde) ilerlemekte. Nano teknoloji devrimi yeni enerji kaynaklarına gereksinim doğuracaksa da, 2020'li yıllara gelindiğinde enerjide her yönden (üretim, depolama, iletim, kullanım) önemli yeni S eğrilerini ortaya çıkaracaktır.

Enerji gereksinimlerini, bir de tersinden giderek, yani kullanımından yola çıkarak ele alalım. Nano teknolojinin madde ve enerjiyi son derece küçük ölçekte, atom ve molekül parçacıkları ölçeklerinde işleme yeteneği sayesinde, enerjinin kullanım verimi çok daha fazla olacak, bu da kendini daha düşük enerji gereksinimiyle gösterecektir. Önümüzdeki birkaç on yıl içinde bilgi işlem, tersinir bilgi işleme geçiş yapacaktır (*bkz.* üçüncü bölümde "Bilgi İşlemin Sınırları"). İrdelediğim gibi, tersinir mantık geçitleriyle yürütülen bilgi işlemin gereksindiği temel enerji, zaman zaman kuantum ve termal etkilerden kaynaklanarak ortaya çıkan hataların düzeltilmesinde kullanılmaktadır. Sonuç olarak, tersinir bilgi işlem, enerji gereksinimlerini tersinemez bilgi işleme göre bir milyar kez azaltma potansiyelini taşır. Ayrıca, mantık geçitleri ve bellek bitleri, her boyutta en az on kez daha da küçük olacak, böylece enerji gereksinimlerini bin kat daha azaltacaktır. Dolayısıyla, nano teknoloji tam olarak geliştiğinde her bit anahtarı için enerji gereksiniminin yaklaşık bir trilyon kat azalmasını sağlayacaktır. Kullandığımız bilgi işlem miktarını tabii ki bundan daha fazla artıracağız ama bu derece önemli miktarlarda artan enerji verimliliği, o artışları büyük oranda dengeleyecektir.

Moleküler nano teknoloji kullanılarak gerçekleştirilecek üretim sistemi, enerjiyi, malzeme yığınlarını bir yerden diğerine gö-

rece savurgan yöntemlerle taşıyan günümüzün üretimine göre çok daha verimli kullanacaktır. Günümüzde kullanılan üretimin, çelik gibi temel malzemelere ayırdığı enerji kaynağı çok fazladır. Tipik bir nanofabrika, bilgisayarlardan giysilere kadar çeşitli ürünleri üretebilecek bir masaüstü aygıt olacaktır. Daha büyük ürünler (örneğin taşıt araçları, konutlar, hatta ek nanofabrikalar) ise daha büyük robotların monte edebileceği, modüler nanosistemler olarak üretilecektir. Nanoüretimin temel enerji gereksinimine karşılık gelen atık ısı tutulup, dönüştürülerek, yeniden kullanılacaktır.

Nanofabrikaların enerji gereksinimleri göz ardı edilebilir düzeydedir. Drexler, moleküler üretimin enerjiyi *tüketen* değil, enerjiyi *üreten* olacağını öngörmektedir. Drexler'e göre, "Moleküler bir üretim sürecinin, üretimde kullanılan hammaddelerin kimyasal enerji içeriğini kullanarak, yan ürün olarak elektrik enerjisi üretilerek (yalnızca ısı kaybı yükünü azaltmak amacıyla) çalıştırılması mümkündür... Normal organik hammaddeleri kullanır, fazla hidrojenin de oksidasyona uğrayacağını varsayarsak, orta verimlilikteki moleküler üretim süreçleri net enerji üreticileri olacaktır."[118]

Ürünlerin, yeni nanotüp tabanlı ve nanokompozit malzemeler kullanılarak ve bugün çelik, titanyum ve alüminyum üretimi için aşırı düzeylerde kullanılan enerjiyi tüketmeden üretilebilmesi mümkündür. Nano teknoloji tabanlı ışıklandırma, sıcak, verimsiz akkor ve floresan ampuller yerine küçük, soğuk, ışık yayıcı diyotlar, kuantum noktaları ya da diğer yenilikçi ışık kaynaklarını kullanacaktır.

Üretilen ürünlerin işlevsellikleri ile değerleri artacak olmakla birlikte ürün boyutları genelde büyümeyecektir (çoğu elektronik gibi bazı ürünler söz konusu olduğunda da ürünler küçülecektir). Bazı ürünlerin bedellerinin yüksek olması, büyük oranda, taşıdıkları bilgi içeriklerinin değerinin artmasına bağlı olacaktır. Bilgi tabanlı ürün ve hizmetlerdeki kabaca yüzde 50 oranındaki deflasyon bu dönemde sürecek olmakla birlikte, değerli bilgi miktarı daha büyük, dengelemenin de ötesinde bir hızla artacaktır.

İkinci bölümde, bilgi iletişiminde geçerli olduğu biçimiyle ivmelenen getiriler yasasını irdeledim. İletişime konu olacak bilgi miktarı üstel artışını sürdürecek, ancak iletişimin verimliliği hemen hemen aynı hızda artacak, bu da iletişimdeki enerji gereksiniminin yavaş büyümesini sağlayacaktır.

---

118 Drexler, *Nanosystems*, s. 428, 433.

Enerji iletiminin verimliliği de büyük ölçüde artacak. Enerji hatlarında oluşan ısı, yakıtın taşınmasında kullanılan ve çevreye birinci dereceden zarar veren yöntemlerin verimsizliği nedeniyle bugün çok fazla miktarda enerji, daha taşınma sırasında kaybolmaktadır. Moleküler nanoüretim konusundaki eleştirilerine karşın, Smalley yine de enerjinin yaratılması ve iletilmesinde geçerli yeni nano teknoloji tabanlı paradigmaların güçlü bir savunucusudur. Smalley, geleneksel bakır tellerden çok daha güçlü, hafif, en önemlisi de çok daha enerji tasarruflu olacak uzun teller şeklinde örülen, karbon nanotüp tabanlı yeni enerji nakil hatlarını betimlemektedir.[119] Smalley ayrıca, elektrik motorlarında alüminyum ve bakır tellerin yerine süper iletken teller kullanılarak daha yüksek verim alınacağını da düşünmektedir. Smalley'nin nano yetenekli enerji geleceği vizyonu, yeni nano teknolojinin getireceği olanaklarla ilgili bir dizi çeşitlilik sunuyor:[120]

- Fotovoltaik yöntem: Güneş panellerinin maliyetinin on ile yüz kat arasında azalması.
- Hidrojen üretimi: Su ve güneş ışığından verimli hidrojen üretmek için kullanılacak yeni teknolojiler.
- Hidrojen saklama: Yakıt hücreleri için hidrojen saklanmasında hafif, sağlam malzeme kullanılması.
- Yakıt hücreleri: Yakıt hücrelerinin maliyetinin on ile yüz kat arasında azalması.
- Piller ve enerji depolama için süper kondansatörler: Enerji saklama yoğunluklarının on ile yüz kat arasında iyileştirilmesi.
- Sağlam ve hafif nanomalzeme kullanımıyla araba, uçak gibi taşıt araçlarının verimliliklerinin artırılması.
- Uzayda, ay dahil, büyük ölçekli enerji toplama sistemleri kurmak için sağlam, hafif nanomalzeme kullanılması.
- Uzayda ve ayın yüzeyinde enerji üreten yapıların otomatik olarak üretilebilmeleri için yapay zekâya sahip nano ölçekli elektronik kullanan robotlar.

---

119 Barnaby J. Feder, "Scientist at Work/Richard Smalley: Small Thoughts for a Global Grid," *New York Times*, 2 Eylül 2003; verilen adres abonelik ya da satınalma gerektirmektedir: http://query.nytimes.com/gst/abstract.html?res=F-30C17FC3D5C0C 718CDDA00894DB404482.

120 Uluslararası Enerji Kurumu, Smalley'nin, "Nanotechnology, the S&T Workforce, Energy & Prosperity" adlı makalesinden, s. 12.

- Yeni nanomalzeme kaplamayla derin sondaj maliyetinin düşürülmesi.
- Kömürden çok yüksek ısılarda daha yüksek enerji verimi elde edilmesini sağlayacak nanokatalizörler.
- Yüksek enerjili kömür çıkarımıyla oluşan isin tutulmasında kullanılacak nanofiltreler. Çıkan is çoğunlukla karbondur, bu da çoğu nano teknoloji tasarımının yapı taşıdır.
- Sıcak, kuru kayadan jeotermal enerji kaynağı elde edebilecek yeni malzeme (yerküre çekirdeğinin ateş tabakasındaki ısının enerjiye dönüştürülmesi).

Enerji iletimi için bir başka seçenek de mikrodalgalarla kablosuz iletimdir. Bu yöntem, uzayda yerleştirilen dev güneş panelleriyle yaratılan enerjinin verimli biçimde ışınlanması için özellikle uygun bir yöntem olacaktır (aşağıya bkz).[121] Birleşmiş Milletler Üniversitesi Amerikan Konseyinin Binyıl Projesi, mikrodalga enerji iletimini, "temiz, bolluk içinde bir enerji geleceğinin" temel unsurlarından biri olarak tasarlamaktadır.[122]

Günümüzde enerjinin depolanması oldukça merkezileştirilmiştir. Sıvı gaz, doğal gaz tankları, diğer türden depolama tesisleri yıkıcı sonuçları olabilecek terör saldırılarına hedef olabileceğinden, bu merkezilik çok önemli bir savunmasızlığı temsil etmektedir. Petrol yüklü kara ve deniz tankerleri de aynı derecede korunmasızdır. Enerjinin depolanmasında yeni gelişen paradigma, sonuçta tüm altyapımıza yayılacak olan yakıt hücreleri olacak, verimsiz ve korumasız merkezi yapılardan verimli ve tutarlı biçimde dağıtılmış sisteme giden eğilimin örneğini oluşturacaktır.

Hidrojenin metanol ve hidrojen bakımından zengin diğer güvenli yakıt türlerinden sağlandığı hidrojen ve oksijen barındıran yakıt hücreleri, son dönemlerde hatırı sayılır ilerleme kaydetmiştir. Massachusetts'te bulunan Integrated Fuel Cell Technologies adındaki küçük bir şirket, bir MEMS (Mikro Elektro Mekanik Sis-

---

121 Birleşmiş Milletler Üniversitesi Amerikan Konseyi, Milenyum Projesi Küresel Sorunları 13: http://www.acunu.org/millennium/ch-13.html.

122 "Wireless Transmission in Earth's Energy Future," Çevre Haberleri Servisi, 19 Kasım 2002, Jerome C. Glenn ve Theodore J. Gordon hakkında, "2002 State of the Future," Birleşmiş Milletler Üniversitesi Amerikan Konseyi (Ağustos 2002).

tem) tabanlı yakıt hücresinin tanıtımını yaptı.[123] Posta pulu büyüklüğündeki aygıtlardan her biri mikroskobik büyüklükte binlerce yakıt hücresi barındırıyor, ayrıca yakıt hatları ile elektronik kumandalar da içeriyor. NEC şirketi, yakın gelecekte dizüstü bilgisayarlar ve diğer taşınabilir elektronik aygıtlar için yakıt hücresi tabanlı nanotüpleri piyasaya çıkarmayı planlıyor.[124] NEC, bu küçük enerji kaynaklarının aygıtları kesintisiz kırk saate kadar çalıştırabileceğini ileri sürmekte. Toshiba da taşınabilir elektronik aygıtlar için yakıt hücreleri hazırlamaktadır.[125]

Aletlere, taşıt araçlarına, hatta evlere enerji sağlayabilecek daha büyük yakıt hücrelerinde de çarpıcı ilerlemeler kaydedilmekte. ABD Enerji Bakanlığınca 2004 yılında yayımlanan bir raporda, nanotabanlı teknolojilerin hidrojen yakıtı hücresiyle çalışan arabayı her yönüyle kolaylaştıracağı sonucuna varılmıştır.[126] Örneğin hidrojen, çok yüksek basınca dayanıklı, sağlam ama hafif tanklarda saklanmak zorundadır. Nanotüpler ve nanokompozitler gibi nanomalzeme, bu tür saklama yapıları için gereken malzemeyi sağlayabilirler. Raporda, benzinle çalışan motorlara göre iki kat daha verimli enerji üreten ve atık olarak yalnızca su üreten yakıt hücreleri öngörülmektedir.

Günümüzün çoğu yakıt hücresi tasarımında, metanolden hidrojen elde edilmekte, elde edilen hidrojenin havadaki oksijenle birleşmesinden de su ve enerji sağlanmaktadır. Ancak, metanolun (odun alkolü) zapt edilmesi zordur; toksik ve yanıcı özelliği nedeniyle de güvenlik kaygılarını gündeme getirmektedir. St. Louis

123 Açıklama: yazar, bu şirketin danışmanı ve yatırımcısıdır.

124 "NEC Unveils Methanol-Fueled Laptop," Associated Press, 30 Haziran 2003, http://www.siliconvalley.com/mld/siliconvalley/news/6203790.htm, NEC basın bülteninden haber, "NEC Unveils Notebook PC with Built-In Fuel Cell," 30 Haziran 2003, http://www.nec.co.jp/press/en/0306/3002.html.

125 Tony Smith, "Toshiba Boffins Prep Laptop Fuel Cell," The Register, 5 Mart 2003, http://www.theregister.co.uk/2003/03/05/toshiba_boffins_prep_laptop_fuel; Yoshiko Hara, "Toshiba Develops Matchbox-Sized Fuel Cell for Mobile Phones," EE Times, 24 Haziran 2004, http://www.eet.com/article/showArticle.jhtml?articleId=22101804, Toshiba basın bülteninden haber, "Toshiba Announces World's Smallest Direct Methanol Fuel Cell with Energy Output of 100 Milliwats," http://www.toshiba.com/taec/press/dmfc_04_222.shtml.

126 Karen Lurie, "Hydrogen Cars," ScienceCentral News, 13 Mayıs 2004, http://www. sciencentral.com/articles/view.php3?language=english&type=article&article_id= 218392247.

Üniversitesinin araştırmacıları, bildiğimiz etanol (içilebilir tahıl alkolü) kullanan dayanıklı yakıt hücrelerinin örneklerini ortaya koydular.[127] Bu aygıt, dehidrojenaz adlı enzimi kullanarak alkolden hidrojen iyonlarını ayırıyor, ayrılan hidrojen havadaki oksijenle tepkimeye girerek enerji üretiyor. Hücrenin, içilebilen hemen hemen tüm alkol türleriyle çalışabildiği görülmektedir. Projede çalışan lisansüstü öğrencilerden Nick Akers, "Farklı türlerle çalıştırdık. Gazlı birayı beğenmedi, şarabı da pek sevmedi gibi, ama diğerleri gayet güzel çalışmakta," demektedir.

Texas Üniversitesinden bilim insanları, doğrudan insan kanında oluşan glikoz oksijen tepkimesinden elektrik üreten, nanobot büyüklüğünde bir yakıt hücresi geliştirdiler.[128] Eleştirmenlerin "vampirbot" adını verdikleri, geleneksel elektronik aygıtları çalıştırmaya yetecek kadar elektrik üretebilen bu hücre, geleceğin kan yoluyla taşınacak nanobotları için kullanılabilir. Benzer bir proje üzerinde çalışan Japon bilim insanları, sistemlerinin, bir insandan alınan kandan yüz vatlık bir doruğa ulaşabilme potansiyelini kuramsal olarak taşıdığını tahmin ediyorlar; insan bedenine yerleştirilebilen aygıtlar bundan çok daha azını gerektirmekte. (Sidney'de yayımlanan bir gazetede, bu projenin, *Matrix* filminde insanların pil olarak kullanılmasına örnek bir temel oluşturduğu yorumu yapıldı.)[129]

---

127 Louise Knapp, "Booze to Fuel Gadget Batteries," *Wired News*, 2 Nisan 2003, http://www.wired.com/news/gizmos/0,1452,58119,00.html, ve St. Louis Üniversitesi basın bülteni, "Powered by Your Liquor Cabinet, New Biofuel Cell Could Replace Rechargeable Batteries," 24 Mart 2003, http://www.slu.edu/readstory/newsinfo/2474, Nick Akers ve Shelley Minteer hakkında haber, "Towards the Development of a Membrane Electrode Assembly," Amerikan Kimya Derneği ulusal toplantısında sunulmuştur, Anaheim, California (2003).

128 "Biofuel Cell Runs on Metabolic Energy to Power Medical Implants" *Nature Online*, 12 Kasım 2002, http://www.nature.com/news/2002/021111/full/021111-1.html, N. Mano, F. Mao ve A. Heller, "A Miniature Biofuel Cell Operating in a Physiological Buffer," *Journal of the American Chemical Society* 124 (2002): 12962–12963 hakkında haber.

129 "Power from Blood Could Lead to 'Human Batteries'," *FairfaxDigital*, 4 Ağustos 2003, http://www.smh.com.au/articles/2003/08/03/1059849278131.html?oneclick=true. Mikrobik yakıt hücreleri hakkında daha fazla bilgi şu adreste bulunabilir: http://www.geobacter.org/research/microbial/. Matsuhiko Nishizawa'nın BioMEMs laboratuvarı, bir mikro biyoyakıt hücresinin şemasını çizmektedir: http://www.biomems.mech.tohoku.ac.jp/research_e.html. Bu kısa makale, bedene yerleştirilebilen, toksik olmayan, şimdi 0,2 vat

Doğal dünyada çok bol bulunan şekerin elektriğe dönüştürülmesinin bir başka yöntemi Massachusetts Üniversitesinden Swades K. Chaudhuri ile Derek R. Lovley tarafından ortaya kondu. Gerçek mikropları *(Rhodoferax ferrireducens* bakterilerini) içeren bu yakıt hücresi, yüzde 81 gibi olağanüstü bir verimlilik oranına sahip; çalışmaz durumdayken de hemen hemen hiç enerji tüketmiyor. Bu bakteriler, hiçbir değişken aracı yan ürün kullanmadan, doğrudan glikozdan elektrik üretiyorlar. Bakteriler ayrıca bu şeker yakıtını kullanarak çoğalıyor, böylece kendilerini güçlendiriyor, sonuç olarak da tutarlı ve sürekli elektrik enerjisi sağlayabiliyorlar. Fruktoz, sakaroz, ksiloz gibi diğer şeker türleriyle yürütülen deneyler de aynı derecede başarılı oldu. Bu araştırmaya dayanan yakıt hücreleri ya gerçek bakterileri ya da alternatif olarak, doğrudan bakterilerin olanak sağladığı kimyasal tepkimeleri kullanabilirler. Nanobotların şeker bakımından zengin kanla çalıştırılmalarının yanı sıra bu aygıtlar, atık endüstri ve tarım maddelerinden de enerji üretme potansiyeline sahipler.

Ayrıca nanotüpler de nano ölçekli pil görevi görerek enerji depolayabilecekleri konusunda umut veriyorlar. Bu mümkün olursa, nano yöntemlerle yapılmış yakıt hücreleriyle rekabet edebilecektir.[130] Bu özellik, son derece sağlam yapı malzemelerini oluşturabildikleri gibi, bilgi işlemde, bilgi iletişiminde ve elektrik enerjisinin iletiminde de yüksek verim sağlama konusundaki hünerlerini zaten ortaya koymuş olan nanotüplerdeki bu olağanüstü çok yönlülüğü daha da ileriye taşımaktadır.

Nanomalzemenin sağladığı enerji türleri arasında en umut verici yöntem, gelecekteki enerji gereksinimimizi tam anlamıyla yenilenebilir, emisyonsuz ve dağıtık biçimde karşılama potansiyelini taşıyan güneş enerjisidir. Bir güneş paneline güneş ışığı doldurmak ücretsizdir. Güneşten yeryüzüne yaklaşık 10^{17} vat gücünde ya da bugün insan uygarlığının tüketmekte olduğu 10^{13} vattan hemen hemen bin kat daha fazla enerjiyle gelen toplam enerji,

---

üretebilen bir güç kaynağı üzerine çalışmayı betimlemektedir: http://www.iol.co.za/index.php?set_id=1&click_id=31&art_id=qw111596760 144B215.

130 Mike Martin, "Pace-Setting Nanotubes May Power Micro-Devices," *NewsFactor*, 27 Şubat 2003, http://physics.iisc.ernet.in/~asood/Pace-Setting%20Nanotubes%20May%20Power%20Micro-Devices.htm.

gereksinimlerimizi karşılamaya yetmenin çok ötesindedir.[131] Yukarıda belirtildiği gibi, önümüzdeki çeyrek yüzyılda bilgi işlemde ve iletişimde ortaya çıkacak çok büyük artışlara, sonucunda da ekonomide ortaya çıkacak büyümeye karşın, nano teknolojinin bunların çok daha ötesinde gerçekleşecek enerji verimlilikleri, enerji gereksinimlerinin 2030 yılına kadar tutucu bir biçimde yalnızca otuz trilyon vat (3×10^{13}) dolayında artacağına işaret etmektedir. Güneşten gelen bu enerjinin yeryüzüne değdiği anda yalnızca 0,0003'ünü (on binde üç) yakalayabilirsek, enerji gereksiniminin tamamını tek başına güneş enerjisiyle karşılayabiliriz.

Bu rakamların, Robert Freitas'ın hesaplarına göre 10^{12} vat olan tüm insanların toplam metabolik enerji verimine ve yeryüzündeki tüm bitki örtüsünün 10^{14} vatlık toplam metabolik enerji verimine kıyaslaması ilginçtir. Freitas ayrıca, küresel enerji dengesini bozmadan mevcut biyolojik ekolojiyi (iklimbilimciler tarafından "hipsitermal sınır" olarak adlandırılmakta) korumak için üretip kullanabileceğimiz enerjiyi 10^{15} vat dolayında hesaplamaktadır. Bu, zekânın geliştirilmesine ve tıbbi amaçlara yönelik olduğu kadar, enerji sağlama ve çevre temizliği gibi başka uygulamalar için de kullanılabilecek, kişi başına azımsanmayacak sayıda nanobot düşmesi demektir. Freitas, küresel olarak on milyon (10^{10}) dolayında bir insan nüfusu olduğunu varsayarak, kişi başına 10^{16} (on bin trilyon) nanobotun bu sınırlar içinde kabul edilebilir olduğunu hesaplamaktadır.[132] Her nörona bir nanobot yerleştirmek istersek kişi başına yalnızca 10^{11} nanobota (bu sınırın on milyonda biri) gereksinimimiz olacaktır.

---

131 "Küresel enerji dengesini göz önüne alarak gezegendeki toplam etkin nanobot kitlesinin sınırını elde etmek sonunda mümkün olmuştur. Dünya'nın yüzeyine gelen toplam güneş ışıması $\sim 1{,}75 \times 10^{17}$ vat (normal geliş açısıyla, $I_{Earth} \sim 1370\ W/m^2 \pm 0.4\%$)." Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 6.5.7, "Global Hypsithermal Limit" (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 175–176, http://www.nanomedicine.com/NMI/6.5.7.htm#p1.

132 Bu hesap, 10 milyar (10^{10}) insan, nanobotların metreküp başına düşen enerji yoğunluğunu 10^7 vat dolayında, bir nanobotun büyüklüğünü bir mikronküp ve her nanobotun yaklaşık 10 pikovat (10^{-11} vat) enerji çektiğini varsaymaktadır. 10^{16} vat hipsitermal sınırı, kişi başına 10 kilogram nanobot ya da kişi başına 10^{16} nanobot demektir. Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 6.5.7 "Global Hypsithermal Limit," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 175–176, http://www.nanomedicine.com/ NMI/6.5.7.htm#p4.

Bu boyuttaki teknolojiye eriştiğimiz zaman, nano teknolojiyle, nanobotlar ve diğer nanomakinelerin ürettikleri ısının en azından önemli bir bölümünü yakalayıp bu ısıyı yeniden enerjiye dönüştürerek, enerjiyi geri dönüşümlü olarak kullanma yeteneğine de sahip olacağız. Bunu yapmanın en etkili yolu büyük olasılıkla enerji geri dönüşüm sistemini nanobotun kendi içinde kurmak olacaktır.[133] Bu, bilgi işlemdeki tersinir mantık geçitlerine, yani temelde her mantık geçidinin son yaptığı işlemde kullandığı enerjiyi hemen geri dönüştürmesi düşüncesine benzer bir düşüncedir.

Nanomakinelerin gerektirdiği karbonu elde etmek için atmosferdeki karbondioksiti de çekebilir, bu işlem sayesinde, günümüz endüstri çağının teknolojilerinin yarattığı karbondioksit artışını tersine çevirebiliriz. Ancak, küresel ısınmanın yerine küresel soğumayı başlatmamak için, son on yılda gerçekleşen artışı fazlasıyla *tersine çevirmemeye* özellikle özen göstermek isteyebiliriz.

Bugüne kadar güneş panelleri görece verimsiz, pahalı sistemler olmuştur ama teknoloji hızla ilerlemektedir. Güneş enerjisini elektriğe dönüştürmenin verimliliği, silikon fotovoltaik hücrelerin kullanımında 1952 yılındaki yüzde 4'ten 1992 yılındaki yüzde 24'e yükselmiştir.[134] Bugün kullanılan çok katmanlı hücreler, yüzde 34 oranında verimlilik sağlamaktadır. Kısa süre önce nanokristallerin güneş enerjisinin dönüşümünde kullanımları üzerinde yapılan bir çözümleme, yüzde 60'ın üzerinde verimliliğe ulaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir.[135]

---

133 Alternatif olarak, nano teknoloji başından son derece enerji tasarruflu bir yöntemle oluşturulabilir; böylelikle enerjinin yeniden yakalanmasına gerek kalmaz, açığa çıkan ısı görece yakalanamayacak kadar az olduğu için enerjinin tutulması mümkün de olmaz. Özel bir iletişimde (Ocak 2005), Robert A. Freitas Jr. şöyle yazmıştır: "Drexler (*Nanosystems*: 396), 'güvenilir, hemen hemen tersinir adımlar kullanarak yiyecek maddelerindeki molekülleri karmaşık ürün yapılarına dönüştürme yeteneğine sahip bir dizi mekanokimyasal sürecin gelişimi varsayıldığında, enerji kaybının kuramsal olarak E_{diss} ~ 0,1 MJ/kg'a kadar düşebileceğini öne sürmektedir.' 0,1 MJ/kg elmas kabaca oda sıcaklığında (ör. 298K'da kT ~ 4 zJ/atom) minimum ısıl gürültüye denk gelmektedir."

134 Alexis De Vos, *Endoreversible Thermodynamics of Solar Energy Conversion* (Londra: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1992), s. 103.

135 R. D. Schaller ve V. I. Klimov, "High Efficiency Carrier Multiplication in PbSe Nanocrystals: Implications for Solar Energy Conversion," *Physical Review Letters* 92.18 (7 Mayıs 2004): 186601.

Bugün güneş enerjisinin maliyeti yaklaşık olarak vat başına 2,75 dolardır.[136] Birçok şirket, güneş enerjisinin maliyetini diğer enerji kaynaklarının maliyetinin altına düşürebilmek umuduyla nano ölçekte güneş pilleri geliştirmekte. Endüstri kaynaklarına göre, güneş enerjisi, vat başına 1,00 doların altına düştüğünde, ulusal enerji şebekesine doğrudan elektrik sağlayabilecek rekabet gücüne sahip olabilecektir. Nanosolar şirketi, çok ince esnek film üzerinde seri olarak üretilebilen titanyum oksit nanoparçacıklara dayanan bir tasarım geliştirmiştir. Şirketin yürütme kurulu başkanı Martin Roscheisen, bu teknolojinin güneş enerjisi maliyetlerini 2006 yılına kadar vat başına elli sentin altına düşürecek potansiyele sahip olduğunu öngörmektedir, bu da doğal gazın maliyetinin altındadır.[137] İki rakip olan Nanosys ve Konarka adlı şirketlerin de benzer projeleri vardır. Bu iş planları başarılı olsun ya da olmasın, MNT (moleküler nano teknoloji) tabanlı üretimi gerçekleştirdiğimizde, güneş panellerini (ve başka birçok şeyi) çok ucuza, temelde hammadde (ana hammaddesi çok ucuz olan karbondur) maliyetiyle üretebileceğiz. Tahminen birkaç mikronluk kalınlıktaki güneş panelleri, sonuçta metrekare başına bir sent kadar ucuzlayabilecektir. Binalar ve taşıt araçları gibi insan yapımı yüzeylerin büyük çoğunluğu üzerine verimli güneş panelleri yerleştirebilir, hatta taşınabilir aygıtları çalıştırabilmek için giysilerimizi de kullanabiliriz. Güneş enerjisinin 0,0003'lük dönüşüm oranının uygulanmasının mümkün, bu nedenle de oldukça ucuz olması gerekir.

Yeryüzündeki yüzeyler, uzayda yerleştirilecek devasa güneş panelleriyle büyütülebilir. NASA'nın tasarlamış olduğu Uzay Güneş Enerjisi Sisteminin bir uydusu, uzaydaki güneş ışığını elektriğe dönüştürüp mikrodalgayla yeryüzüne ışınlayabilir. Bu uyduların her biri tek başına on binlerce konuta yetecek milyarlarca

136 Ulusal Akademiler Yayınları, Fizik Bilimleri, Matematik ve Uygulamaları Kurulu, *Harnessing Light: Optical Science and Engineering for the 21st Century*, (Washington, D.C.: National Academy Yayınları, 1998), s. 166, http://books.nap. edu/books/0309059917/html/166.html.

137 Matt Marshall, "World Events Spark Interest in Solar Cell Energy Start–ups," *Mercury News*, 15 Ağustos 2004, http://www.konarkatech.com/news_articles_ 082004/b-silicon_valley.php ve http://www.nanosolar.com/cache/merc0815 04.htm.

vatlık enerjiyi sağlayabilir.[138] 2029 yılı dolaylarında sahip olacağımız üretim teknolojisiyle çok büyük güneş panellerini doğrudan dünyanın yörüngesinde üretebiliriz. Bu işlem yalnızca gerekli hammaddenin, büyük olasılıkla, bir ucu bir uzay mekiğine bağlı olacak, diğer ucuysa jeosantrik yörüngenin çok ötesine uzanacak, karbon nanotüp kompozit adı verilen bir malzemeden yapılma ince bir şerit olarak yapılması planlanan Uzay Asansörüyle uzay istasyonlarına gönderilmesini gerektirecektir.[139]

Masaüstü birleştirme de bir olasılıktır. Oak Ridge Ulusal Laboratuvarından bilim insanları, ultrasonik ses dalgalarıyla bir sıvı çözücüyü sallayarak gaz baloncuklarının iyice sıkışıp milyonlarca derece sıcaklığa erişmelerini, böylelikle de hidrojen atomlarının nükleer füzyonunu ve enerji oluşmasını sağladılar.[140] 1989 yılında yayımlanan ilk soğuk füzyon raporları hakkındaki geniş çaplı kuşkulara karşın bu ultrasonik yöntem, bazı bilirkişiler tarafından sıcak karşılandı.[141] Ancak bu yöntemin kullanışlılığı hakkında yeterli bilgi olmadığından, enerji üretiminde gelecekte oynayacağı rol hâlâ spekülasyon konusudur.

Nano teknolojinin Çevre Üzerindeki Uygulamaları

Nano teknolojinin ortaya çıkardığı olanaklar, çevre üzerinde çarpıcı etkilerin sözünü vermektedir. Buna, istenmeyen emisyonu büyük oranda azaltacak ve endüstri çağının neden olduğu kirlenme-

---

138 John Gartner, "NASA Spaces on Energy Solution," *Wired News*, 22 Haziran 2004, http://www.wired.com/news/technology/0,1282,63913,00.html. *Ayrıca bkz.* Arthur Smith, "The Case for Solar Power from Space," http://www.lispace.org/articles/SSPCase.html.

139 "The Space Elevator Primer," Spaceward Vakfı, http://www.elevator 2010.org/site/primer. html.

140 Kenneth Chang, "Experts Say New Desktop Fusion Claims Seem More Credible," *New York Times*, 3 Mart 2004, http://www.rpi.edu/web/News/nytlahey3.html, R. P. Taleyarkhan, "Additional Evidence of Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation," üzerine haber *Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics* 69.3, 2. bölüm (Mart 2004): 036109.

141 Pons ve Fleichman'ın, paladyum elektrotlar kullanan o ilk soğuk masaüstü füzyon yöntemi ölmedi. Yöntemin ateşli savunucuları teknoloji üzerindeki araştırmalarını sürdürdüler, Enerji Bakanlığı da 2004 yılında bu alanda yapılan yeni araştırmaları resmi olarak gözden geçirmekte olduğunu bildirdi. Toni Feder, "DOE Warms to Cold Fusion," *Physics Today* (Nisan 2004), http://www.physicstoday.org/vol-57/iss-4/p27.html.

nin etkilerini iyileştirecek yeni üretim ve işleme teknolojilerinin oluşturulması da dahildir. Enerji gereksinimlerimizin, yukarıda irdelediğim biçimde, nanosolar paneller gibi nano teknolojinin mümkün kılacağı, yenilenebilir, temiz kaynaklardan karşılanmasının bu yöndeki en önemli çaba olacağı çok açıktır.

Parçacık ve aygıtların moleküler ölçekte yapılmasıyla, yalnızca boyutlar büyük oranda küçültülüp yüzey alanı da büyütülmekte kalınmayacak, aynı zamanda yeni elektrik, kimyasal ve biyolojik özellikler de kazandırılacaktır. Geliştirilmiş mikroelektronik sayesinde elde edebileceğimiz zeki denetim mekanizmaları bir yana, nano teknoloji, bize er ya da geç, gelişmiş kataliz, kimyasal ve atomsal bağlanma, duyum ve mekanik yönlendirme için çok gelişmiş bir araç takımını sağlayacaktır.

Sonunda, istenmeyen yan ürünler ve bunların çevreye atılmaları gibi sonuçları en düşük düzeye çekebilmek için tüm endüstri süreçlerimizi yeniden tasarlayacağız. Önceki bölümde biyoteknolojide buna benzer bir eğilimi irdeledik: Hedefe kilitlenmiş biyokimyasal müdahaleyi yürütecek, zekice tasarlanmış, yan etkileri büyük ölçüde indirgenmiş sağaltıcı unsurlar. Gerçekten de tasarlanan moleküllerin nano teknoloji yoluyla oluşturulması işleminin kendisi biyoteknoloji devrimini büyük ölçüde hızlandıracaktır.

Çağımızın nano teknoloji araştırma ve geliştirme çalışmaları, nanoparçacıklar, nanokatmanlar yoluyla yapılmış moleküller ve nanotüpler gibi görece basit "aygıtları" kullanmaktadır. On ile bin arasında atom barındıran nanoparçacıklar, genellikle doğal olarak kristalsi bir yapıya sahipler, nanomoleküler üretimin araçlarına henüz tam olarak sahip olmadığımız için de kristal yetiştirme yöntemlerini kullanırlar. Nanoyapılar, kendiliğinden birleşen çok sayıda katmandan oluşur. Bu tür yapılar genel olarak hidrojen ya da karbon bağlanması ve atoma özgü diğer kuvvetlerle bir arada tutunurlar. Hücre membranı ve DNA gibi biyolojik yapılar çok katmanlı nanoyapıların doğal örnekleridir.

Tüm yeni teknolojilerde olduğu gibi nanoparçacıkların da olumsuz bir yanı vardır: Yeni tür toksinler ile diğer öngörülmeyen çevre ve yaşam etkileşimlerinin ortaya çıkması. Galyum arsenit gibi birçok toksik madde, atılan elektronik ürünler yoluyla ekosisteme girmeye başlamıştır. Nanoparçacıkların ve nanokatmanların

yüksek yararları olan sonuçları sağlamalarını mümkün kılan aynı özelliklerin, öngörülemeyen bazı tepkimelere, özellikle de besin maddelerimiz ve kendi bedenlerimiz gibi biyolojik sistemlerdeki tepkimelere neden olması mümkündür. Bunlar birçok durumda mevcut düzenlemelerle etkili biçimde denetlenebilecek olsalar da, burada ağır basan kaygı, henüz araştırılmamış çok sayıdaki etkileşim hakkındaki bilgi eksikliğimizdir.

Yine de birçok proje, endüstriyel süreçleri geliştirip, var olan kirlenme biçimlerini ayrıntılı biçimde ele almayı amaçlayan nano teknoloji uygulamalarına başlamıştır. Birkaç örnek:

- Birçok farklı çevresel toksinin sağaltımı, etkisizleştirilmesi ve ortadan kaldırılmasında nanoparçacıkların kullanımı üzerinde kapsamlı araştırmalar yürütülmektedir. Oksidanlar, indirgeyiciler ve diğer etken maddelerin nanoparçacık biçimleri birçok istenmeyen maddeyi dönüştürebilme yeteneklerini göstermiştir. Işıkla etkinleştirilen nanoparçacıklar (örneğin, titanyum dioksit ve çinko oksit türleri) toksinleri bağlayıp yok etme yeteneğine sahiptirler; ancak, kendileri düşük toksin düzeyine sahiptir.[142] Çinko oksit nanoparçacıkları, klorlu fenollerdeki zehiri ortadan kaldırmak için özellikle güçlü bir katalizör oluşturmaktadır. Bu nanoparçacıklar hem algılayıcı hem de katalizör görevi görürler; ayrıca, yalnızca hedeflenen bulaşıcı maddeleri dönüştürecek biçimde tasarlanabilmektedirler.
- Su arıtımında kullanılan nanofiltrasyon zarlar, sedimantasyon havuzları ve atıksu arıtıcıları kullanan geleneksel yöntemlere kıyasla küçük parçacıklı bulaşıcıları yok etmenin oldukça iyileştirilmiş yöntemleridir. Tasarlanmış katalizörleri olan nanoparçacıkların kirliliği emerek yok etme yeteneği vardır. Bu nanomalzemenin manyetik ayırma yoluyla yeniden kullanılması mümkündür; yeniden kullanılmaları da bu malzemenin de sonradan bulaşıcı maddeye dönüşmesini önler. Bu duruma verilebilecek birçok örnekten biri olarak hidrokarbonlarda

142 Akira Fujishima, Tata N. Rao ve Donald A. Tryk, "Titanium Dioxide Photocatalysis," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Review* 1 (29 Haziran 2000): 1–21; Prashant V. Kamat, Rebecca Huehn ve Roxana Nicolaescu, "A 'Sense and Shoot' Approach for Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants in Water," *Journal of Physical Chemistry B* 106 (31 Ocak 2002): 788–794.

kontrollü oksidasyon (örneğin, tolüenin toksik olmayan benzaldehite dönüştürülmesi) sağlamak için geliştirilen zeolit adlı nano ölçekteki alüminyum silikat molekül süzgeçleri ele alın.[143] Bu yöntem, hem daha az enerji gerektirir hem de verimsiz fototepkime yoluyla atık ürünlerin hacmini azaltır.

- Kimya endüstrisinde katalizör ve katalizör desteği olarak kullanılacak, nanoyöntemlerle üretilmiş kristal malzeme üretimine yönelik kapsamlı araştırmalar yürütülmektedir. Bu katalizörler, kimya verimini iyileştirme, toksit yan ürünleri azaltma ve bulaşıcı unsurları yok etme potansiyeline sahiptirler.[144] Örneğin, bugün petrol endüstrisi, diğer kirlilikten arındırma yöntemlerinin gözden kaçırdığı çok küçük bulaşıcıları yok etmek için MCM–41 maddesini kullanılmaktadır.
- Araba yapımında malzeme olarak nanokompozitlerin yaygın şekilde kullanılmasının, benzin tüketimini yılda 1,5 milyar litre azaltacağı tahmin edilmektedir. Benzin tüketimindeki azalma da, çevreye sağlayacağı diğer yararların yanı sıra, karbon dioksit emisyonunu yılda beş milyar kilogram azaltacaktır.
- Nano robotbilimi nükleer atık yönetimine yardımcı olmak üzere kullanılabilir. Nükleer yakıtın işlenmesi sırasında kullanılacak nanofiltreler, izotopları ayırabilir. Nanosıvılar, nükleer reaktörlerin soğutulması işleminde verimliliği artırabilir.
- Konut ve endüstri aydınlatması için nano teknolojinin kullanılması, hem elektriğe olan gereksinimi azaltacak hem de karbon emisyonunda tahminen yılda iki yüz milyon ton azalma sağlayacaktır.[145]

---

143 A. G. Panov vd, "Photooxidation of Toluene and p–Xylene in Cation–Exchanged Zeolites X, Y, ZSM–5, and Beta: The Role of Zeolite Physicochemical Properties in Product Yield and Selectivity," *Journal of Physical Chemistry B* 104 (22 Haziran 2000): 5706–5714.

144 Gabor A. Somorjai ve Keith McCrea, "Roadmap for Catalysis Science in the 21st Century: A Personal View of Building the Future on Past and Present Accomplishments," *Applied Catalysis* A:General 222.1–2 (2001): 3–18, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı sayı 3.LBNL–48555, http://www.cchem.berkeley.edu/~ gasgrp/2000.html (yayın 877). *Ayrıca bkz.* Zhao, Lu ve Millar, "Advances in mesoporous molecular sieve MCM–41," *Industrial & Engineering Chemistry Research* 35 (1996): 2075–2090, http://cheed.nus.edu.sg/~chezxs/Zhao/ publication/1996_2075.pdf.

145 NTSC/NSET raporu, National Nanotechnology Initiative: The Initiative and Its Implementation Plan (Ulusal Nano teknoloji Girişimi: Girişim ve Uygulama Planı), Temmuz 2000, http://www.nano.gov/html/res/nni2.pdf.

- Kendiliğinden birleşen elektronik aygıtlar (örneğin, kendiliğinden birleşen biyopolimerler) mükemmelleştirildiklerinde, üretim ve kullanımda daha az enerji gerektirecekler ve geleneksel yarı iletken üretim yöntemlerine göre daha az toksik yan ürün üreteceklerdir.
- Nanotüp tabanlı alan yayılımlı ekran (AYE) kullanan yeni bilgisayar ekranları, bir yandan geleneksel ekranlarda kullanılan ağır metaller ile diğer toksik maddeleri ortadan kaldırırken, diğer yandan üstün ekran özellikleri sağlayacaktır.
- Bimetal nanoparçacıklar (örneğin, demir/paladyum ya da demir/gümüş), poliklorlu bifeniller, pestisitler ve halojenli organik çözücüler için etkili indirgeyici ve katalizör görevi görebilirler.[146]
- Nanotüpler, dioksinlerde etkili soğurucular olarak ortaya çıkmaktadır, bu konuda, geleneksel yolla etkinleştirilen karbona göre çok daha iyi performans göstermiştir.[147]

Buradakiler, çevre üzerinde olumlu etkileri olabilecek nano teknoloji uygulamaları üzerinde yürütülen bugünkü araştırmalara verilebilecek örneklerden birkaçıdır. Basit nanoparçacıkların ve nanokatmanların ilerisine geçebilip, tam kontrollü moleküler nano birleşme yoluyla daha karmaşık sistemler oluşturabildiğimizde, oldukça karmaşık görevleri üstlenebilecek çok küçük zeki aygıtları çok büyük miktarlarda üretebilecek duruma geleceğiz. Çevrenin temizlenmesi de kuşkusuz bu misyonlardan biri olacaktır.

Kandaki Nanobotlar

> Nano teknoloji ... doğanın ulaşılabilecek en önemli oyuncak kutusuyla oynayabileceğimiz araçları –atomlar ve molekülleri– bize verdi. Her şey bundan oluşur. ... Yeni şeyler yaratmanın olanakları da sınırsız gibi görünmektedir.
>
> —Nobel ödüllü Horst Störmer

146 Wei–xian Zhang, Chuan–Bao Wang ve Hsing–Lung Lien, "Treatment of Chlorinated Organic Contaminants with Nanoscale Bimetallic Particles," *Catalysis Today* 40 (14 Mayıs 1988): 387–395.

147 R. Q. Long ve R. T. Yang, "Carbon Nanotubes as Superior Sorbent for Dioxin Removal," *Journal of the American Chemical Society* 123.9 (2001): 2058–2059.

Bu nanotıp müdahalelerinin net etkisi, hastanın o anki yaşının, arzu ettiği yeni biyolojik yaşa düşürülüp, tüm biyolojik yaşlanma süreçlerinin aralıksız olarak durdurulması, böylece takvim ile biyolojik sağlık arasındaki bağlantının sonsuza kadar koparılması olacaktır. Bu tür müdahaleler, bundan birkaç on yıl sonra olağan olabilir. Yıllık sağlık kontrolleri, arındırma işlemleri, zaman zaman da büyük onarımlarla biyolojik yaşınız yılda bir kez, seçtiğiniz değişmez fizyolojik yaşa yaklaşık olarak getirilebilecektir. Sonuçta yine de bir kaza sonucunda ölebilirsiniz; ama şimdi yaşayacağınızdan en az on kat daha uzun yaşayacaksınız.

—Robert A. Freitas Jr.[148]

Üretimde kusursuz moleküler denetimin başlıca örneklerinden biri, milyarlarca ya da trilyonlarca nanobotun kullanılması olacaktır: Kanda dolaşabilen, insanın bir kan hücresi kadar ya da daha küçük robotlar. Bu, kulağa geldiği kadar fütüristik bir düşünce değildir; bu düşünceyi kullanan deneyler hayvanlar üzerinde başarıyla yürütülmüştür, bu türden nano ölçekli birçok aygıt da hayvanlarda kullanılarak sonuç vermektedir. BiyoMEMS (Biyolojik Mikro Elektro Mekanik Sistemler) hakkında en az dört büyük konferansta insanın kan dolaşımında kullanılacak aygıtlar ele alınmıştır.[149]

Minyatürleştirme ve maliyet azaltma eğilimlerine göre yaklaşık yirmi beş yıl içinde uygulanabilir duruma gelecek birkaç nanobot teknolojisini ele alın. Ters mühendislik işlemini kolaylaştırmak amacıyla insan beyninin taranmasına ek olarak, bu nanobotlar, çok sayıda tanı ve sağaltım işlevini de yürütebilecekler.

Öncü nano teknoloji kuramcısı, nanotıbbın (biyolojik sistemlerimizin molekül ölçeğinde uygulanan yöntemlerle yeniden yapılandırılması) önde gelen destekçilerinden ve *Nanomedicine* [*Nan-*

148 Robert A. Freitas, Jr. "Death Is an Outrage!" Yaşamın Uç Noktada Uzatılması başlıklı Beşinci Alcor Konferansı'nda sunulmuştur, Newport Beach, California, 16 Kasım 2002, http://www.rfreitas.com/Nano/DeathIsAnOutrage.htm.

149 Örneğin, beşinci yıllık BIOMEMS konferansı, Haziran 2003, San Jose, http://www.knowledgepress.com/events/11201717.htm.

totıp] adlı kitabın[150] yazarı olan Robert A. Freitas Jr., biyolojik akranlarından yüzlerce ya da binlerce kat daha etkili performans gösteren robot kan hücrelerinin tasarımını yaptı. Freitas'ın respirositleriyle (robotik alyuvarlar) bir atletin hiç nefes almadan, on beş dakika süreyle Olimpik hız koşusu koşması mümkündür.[151] Freitas'ın "mikrobivor" adı verilen robotik makrofajları, patojenlerle savaşımda bizim akyuvarlarımızdan çok daha etkili olacaklardır.[152] Freitas'ın DNA onarma robotu, DNA transkripsiyon hatalarını onarabilecek, hatta alet gerektiren DNA değişikliklerini de yapabilecektir. Tasarımını yaptığı diğer tıp robotları, insan hücrelerinden teker teker istenmeyen kalıntıları ve kimyasalları (prionlar, hatalı biçimlenmiş proteinler, protofibriller gibi) atarak temizleyici görevi görebilirler.

Freitas, çok çeşitli tıp nano robotlarının (Freitas'ın yeğlediği kullanım) kavramsal tasarımlarının ayrıntılarını, ayrıca bu nano robotların yapılması sırasında ortaya çıkabilecek farklı tasarım sorunlarının çözümlerini vermektedir. Örneğin, güdümlü ve denetimli devinim için bir düzine kadar yöntem belirtmektedir.[153] Bu yöntemlerden bazıları, itici hareketli siliya gibi biyolojik tasarımlara dayanır. Bu uygulamaları sonraki bölümde daha ayrıntılı biçimde ele alacağım.

George Whitesides, *Scientific American* dergisindeki makalesinde, "Nano ölçekli nesneler söz konusu olduğunda, insan bir

---

150 Dört cilt olarak planlanan bir dizinin ilk iki cildi: Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt I, *Basic Capabilities* (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999); *Nanomedicine*, cilt IIA, *Biocompatibility*, (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2003); http://www.nanomedicine.com.

151 Robert A. Freitas Jr., "Exploratoıy Design in Medical Nanotechnology: A Mechanical Artificial Red Cell," *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobilization Biotechnology* 26 (1998): 411–430, http://www.foresight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html.

152 Robert A. Freitas Jr., "Microbivores: Artificial Mechanical Phagocytes using Digest and Discharge Protocol," Zyvex tarafından yeniden basım, Mart 2001, http://www.rfreitas. com/Nano/Microbivores.htm; Robert A. Freitas Jr., "Microbivores: Artificial Mechanical Phagocytes," Foresight Güncelleme no. 44, 31 Mart 2001, s. 11–13, http://www.imm.org/Reports/Rep025.html; *ayrıca bkz.* Nanotıp Sanat Galerisinde yer alan mikrobivor imgeleri, http://www.foresight.org/Nanomedicine/Gallery/Species/Microbivores.html.

153 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt I, *Basic Capabilities*, bölüm 9.4.2.5 "Nanomechanisms for Natation" (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 309–312, http://www.nanomedicine.com/NMI/9.4.2.5.htm.

pervane yapmayı bile başarabilse, yeni ve ciddi bir sorun ortaya çıkacaktır: Su moleküllerinin rastlantısal çatışması. Bu su molekülleri bir nano denizaltından küçük olacak ama daha fazla küçülemeyeceklerdir," diyerek yakınmıştır.[154] Whiteside'ın çözümlemesi hatalı kavramaya dayanmaktadır. Freitas'ınkiler dahil olmak üzere bütün tıbbi nanobot tasarımları, bir su molekülünden en az on bin kat daha büyüktür. Freitas'ın ve başkalarının yaptıkları çözümlemeler, birbirine komşu moleküllerde Brown deviniminin önemsiz düzeyde olduğunu göstermektedir. Gerçekten de nano ölçekteki tıp robotları, kan hücrelerinden ya da bakterilerden binlerce kat daha tutarlı ve kusursuz olacaklardır.[155]

Tıp nanobotlarının, biyolojik hücrelerin sindirim ve solunum gibi metabolik süreçlerini sürdürebilmeleri için gereksindikleri o karmaşık hizmetlere gereksinmeyeceklerini de ayrıca belirtmek gerekir. Biyolojik üreme sistemlerini destekleme gereksinimleri de yoktur.

Freitas'ın kavramsal tasarımlarının uygulanmasına henüz birkaç on yıl var, ama kan dolaşımına dayanan aygıtlarda hatırı sayılır ilerleme kaydedilmiş durumda. Örneğin, Chicago'daki Illinois Üniversitesinden bir araştırmacı, pankreasın islet hücrelerini taşıyan bir nanoaygıt kullanarak farelerde Tip 1 şeker hastalığını iyileştirdi.[156] Aygıtın, insülini dışarı veren ancak hücreleri yok eden antikorları içeri kabul etmeyen yedi nanometre büyüklüğünde gözenekleri bulunuyor. Bu türden birçok yenilikçi projenin çalışmaları başladı ve sürmektedir.

---

154 George Whitesides, "Nanoinspiration: The Once and Future Nanomachine," *Scientific American* 285.3 (16 Eylül 2001): 78–83.

155 "Einstein'ın Brown devinimi hesabına göre, oda sıcaklığında 1 saniye geçtikten sonra akışkan bir su molekülü ortalama ~50 mikron (~400.000 molekül çapı) yayılmış olacakken, aynı sıvıya batırılmış 1 mikronluk bir nanobot aynı süre içinde yerini yalnızca ~0,7 mikron (yalnızca ~0,7 aygıt çapı) değiştirmiş olacaktır. Yani, Brown devinimi, kendi kendine hareket edebilen tıbbi nanobotlar için en fazla çok küçük bir dolaşım hata kaynağı olabilir." *Bkz.* K. Eric Drexler vd, "Many Future Nanomachines: A Rebuttal to Whitesides' Assertion That Mechanical Molecular Assemblers Are Not Workable and Not a Concern," Birleştiriciler Üzerine Bir Tartışma, Moleküler Üretim Enstitüsü, 2001, http://www.imm.org/SciAmDebate2/whitesides.html.

156 Tejal A. Desai, "MEMS-Based Technologies for Cellular Encapsulation," *American Journal of Drug Delivery* 1.1 (2003): 3–11, özeti şu adreste bulunabilir: http://www.ingenta connect. com/search/expand?pub=infobike://adis/add/2003/00000001/00000001/art00001.

Molly 2004: *Peki, kanımda bunca nanobotla yaşayacağım. Havuzumun dibinde saatlerce oturabilmem dışında bunların bana ne yararı olacak?*

Ray: *Sağlıklı kalmanı sağlayacak. Bakteri, virüs, kanser hücresi gibi patojenleri yok edecek, bağışıklık sistemini tehdit eden otoimmün tepkiler gibi çeşitli tuzaklardan da etkilenmeyecekler. Biyolojik bağışıklık sisteminin aksine, nanobotların yaptığını beğenmediğin zaman onlara başka bir şey yapmalarını söyleyebileceksin.*

Molly 2004: *Yani nanobotlarıma bir e–posta iletisi gönderebileceğimi mi söylüyorsun? Yani, Hey, nanobotlar, bağırsaklarımdaki o bakterileri yok etmeyi bırakın, onlar sindirimime iyi geliyor, gibi mi?*

Ray: *Evet, iyi bir örnek. Nanobotlar senin denetiminde olacak. Birbirleriyle ve internet üzerinden iletişimde olacaklar. Bugün bile, hastanın yeni yazılım yükleyebileceği nöron implantlarını (örneğin, Parkinson hastalığı için) kullanıyoruz.*

Molly 2004: *Bu, yazılım virüsü konusunu oldukça ciddi bir duruma getiriyor, değil mi? Bugün, bana kötü bir yazılım virüsü denk gelirse, virüs temizleme programımı çalıştırır, sonra yedeklediğim dosyalarımı yeniden yüklerim. Ama kanımdaki nanobotlar bir haydut mesaj alırlarsa, kan hücrelerimi öldürmeye başlayabilirler.*

Ray: *Belki de bu nedenle robotik kan hücrelerin olsun isteyeceksin ama ne demek istediğini anladım. Ancak bu yeni bir konu değil. 2004 yılında bile yoğun bakım birimlerini çalıştıran, 911 acil yardım sistemlerini yöneten, nükleer güç santrallerini denetleyen, uçakları indirip güdümlü nükleer füzeleri yönlendiren hassas görevlere ait yazılım sistemleri kullanıyoruz. Yani yazılımın sağlam olması zaten çok önemli.*

Molly 2004: *Doğru, ama yazılımın kanımda ve bedenimde dolaşması düşüncesi insanın gözünü daha çok korkutuyor. Kişisel bilgisayarıma günde yüzün üzerinde istemediğim e–posta geliyor. Bunların en azından birkaç tanesi kötü niyetli yazılım virüsü taşıyor. Bedenimdeki nanobotlara yazılım virüsü girmesi konusunda pek rahat değilim.*

Ray: *Geleneksel internet erişimi gibi düşünüyorsun. Sanal özel ağlarla zaten bugün de elimizde sağlam güvenlik duvarı oluşturmanın olanakları var; aksi durumda günümüzün*

hassas görevlerde kullanılan sistemleri mümkün olmazdı. Bu sistemler oldukça iyi çalışıyor, internet teknolojisiyse gelişimini sürdürecek.

Molly 2004: *Bence kimileri senin güvenlik duvarlarına duyduğun güvene karşı çıkacaklardır.*

Ray: Mükemmel değiller, doğru, hiçbir zaman da olmayacaklar, ama bedenlerimiz ile beyinlerimizde kapsamlı yazılımların dolaşmasına birkaç on yıl daha var.

Molly 2004: *Tamam, ama virüs yazarları da bu arada becerilerini geliştireceklerdir.*

Ray: *Bir sinir harbi olacak, buna kuşku yok. Ama bugün sağladığı yararlar, verdiği zararlara apaçık ağır basıyor.*

Molly 2004: *Bu ne kadar açık?*

Ray: *Eh, kimse çıkıp da yazılım virüsleri çok büyük bir sorun olduğu için interneti ortadan kaldırmamız gerektiğini söylemiyor.*

Molly 2004: *Bak buna katılırım.*

Ray: *Nano teknoloji olgunlaştığında biyolojik patojenleri yenerek, toksinleri ortadan kaldırarak, DNA hatalarını düzelterek, diğer yaşlanma nedenlerini tersine çevirerek biyolojinin sorunlarını çözecektir. O zaman da, tıpkı internetin yazılım virüsleri tehlikesini getirdiği gibi, bunun da getireceği yeni tehlikelerle uğraşmak zorunda kalacağız. Bu güçlü, dağıtık nanobotları denetleyen yazılımın sağlamlığı gibi, bu yeni tuzaklar arasında, kendiliğinden kopyalanan nano teknolojinin kontrolden çıkması potansiyeli de var.*

Molly 2004: *Yaşlanmanın tersine çevrilmesi mi dedin?*

Ray: *Bakıyorum önemli yararlarından biriyle ilgilenmeye başladın bile.*

Molly 2004: *Peki, nanobotlar bunu nasıl yapacaklar?*

Ray: *Aslında bunun büyük bölümünü biyoteknoloji sayesinde, yıkıcı genleri etkisizleştirmek için RNA engellemesi, genetik kodunu değiştirmek için gen terapisi, hücre ve dokularını canlandırmak için sağaltıcı klonlama, metabolik kanallarını yeniden programlamak için akıllı ilaçlar ve daha birçok gelişmekte olan yöntemi kullanarak başaracağız. Ama biyoteknolojinin üstesinden gelemediği herhangi bir şey olursa da bunları çözmek için elimizde nano teknoloji yöntemleri olacaktır.*

Molly 2004: *Örneğin?*

Ray: *Nanobotlar kanda dolaşabilecek, kandan hücrelerimizin içine girip çevresinden dolaşabilecek, toksinlerin atılması, kalıntıların süpürülmesi, DNA hatalarının düzeltilmesi, hücre membranlarının onarılıp yenilenmesi, damar tıkanıklığının giderilmesi, hormonların, nöro-ileticiler ile diğer metabolizma kimyasallarının düzeylerinin düzenlenmesi gibi çok çeşitli hizmetleri yerine getirebilecek. Her yaşlanma süreci için nanobotların bu süreci tersine çevirmekte kullanacakları yöntemi, tek tek hücreler, hücre bileşenleri, moleküller düzeyinde tanımlayabiliriz.*

Molly 2004: *Böylece sonsuza kadar genç kalabileceğim?*

Ray: *Düşünce o.*

Molly 2004: *Bunlara ne zaman sahip olabileceğim dedin?*

Ray: *Nanobotların güvenlik duvarı için kaygılandığını sanıyordum.*

Molly 2004: *Eh, evet, o konuda kaygılanmama daha zaman var. Ya zamanlaması nasıldı?*

Ray: *Yirmi, yirmi beş yıl kadar.*

Molly 2004: *Şu anda yirmi beş yaşındayım, böylece kırk beş yaşıma kadar yaşlanıp orada duracak mıyım?*

Ray: *Hayır, tam olarak öyle değil. Şu anda elimizde olan bilgiyi kullanarak yaşlanmayı yavaşlatır, emekler düzeye getirebilirsin. On ya da yirmi yıl içinde biyoteknoloji devrimi her hastalığın ve yaşlanmanın durdurulması, birçok durumda da geriletilebilmesi için çok daha güçlü yöntemleri sağlayacaktır. Bu arada hiçbir şey olmayacak değil tabii. Her yıl daha güçlü yöntemlerimiz olacak, böylece süreç ivme kazanacak. Sonra nano teknoloji işi bitirecek.*

Molly 2004: *Evet, tabii, senin için içinde "ivme" sözcüğü geçmeyen bir tümce kurmak zor. Öyleyse hangi biyolojik yaşa ulaşacağım?*

Ray: *Sanırım otuzlarında bir yerde karar verip bir süre orada kalırsın.*

Molly 2004: *Otuzlar kulağa hoş geliyor. Bence, yirmi beşten biraz daha olgun her yaş iyi duruyor. Peki, "bir süre" demekle neyi kastettin?*

Ray: *Yaşlanmanın durdurulup tersine çevrilmesi yalnızca başlangıç. Sağlık ve uzun yaşam için nanobotların kullanılması, nano teknoloji ile zeki bilgi işlemin bedenlerimize ve beyinlerimize tanıştırılmasının yalnızca ilk uygulama*

evresi. Daha etkili sonuçlardan biri, zihinsel kapasitemizi birbirleriyle ve biyolojik nöronlarımızla iletişim kuran nanobotlarla yükseltmemiz olacak. Biyolojik olmayan zekâmız beyinlerimizde, deyim yerindeyse, ayak basacak sağlam bir zemin bulduğunda, ivmelenen getiriler yasasına tabi olarak üstel olarak gelişecektir. Diğer yandan, biyolojik düşüncemiz ise temelde yerinde saplanıp kalmıştır.

Molly 2004: *İşte yine, ivmelenen şeylerden söz ediyorsun. Ama bu gerçekten işlemeye başladığında, biyolojik nöronlarla düşünmek görece çok daha önemsiz olacaktır.*

Ray: *Bu, doğru bir ifade.*

Molly 2004: *Peki, geleceğin Molly Hanımı, biyolojik bedenimle beynimi ne zaman bıraktım?*

Molly 2104: *Sana geleceğinin ayrıntılarını anlatmamı istemezsin, değil mi? Aslında o kadar basit bir soru da değil.*

Molly 2004: *Nasıl?*

Molly 2104: *2040'larda, kendi biyolojik ya da biyolojik olmayan kısımlarımızı hiç beklemeden yapabileceğimiz yöntemleri geliştirdik. Gerçek doğamızın bilgi örüntüsü olduğu ortaya çıktı ama kendimizi yine de belli bir fiziksel biçimde ortaya koyma gereksinimindeydik. Ancak bu fiziksel biçimi kolaylıkla değiştirebiliyorduk.*

Molly 2004: *Neyle?*

Molly 2104: *Yeni yüksek hızdaki MNT üretimi kullanarak. Böylece o anda ve çabucak o anki fiziksel örneğimizi yeniden tasarlayabiliyorduk. Yani, bir an biyolojik bir bedenim olabiliyor, sonra olmayabiliyor, sonra yine oluyor, sonra değişiyor gibi...*

Molly 2004: *Sanırım takip edebiliyorum.*

Molly 2104: *Konu, biyolojik beynime ve/veya bedenime ya sahip olabilmem ya da olamamam. Söz konusu olan herhangi bir şeyden vazgeçmek değil, çünkü istemeyip bıraktığımız bir şeyi istediğimiz zaman geri alabiliriz.*

Molly 2004: *Bunu hâlâ yapıyor musunuz?*

Molly 2104: *Bazıları yapıyor ama 2104 yılında bu biraz çağdışı bir şey. Demek istediğim, biyolojinin simülasyonlarını gerçek biyolojiden ayırt etmek kesinlikle mümkün değil, öyleyse neden fiziksel örneklemelerle uğraşalım?*

Molly 2004: *İşler karışıyor, değil mi?*

Molly 2104: *Öyle.*

Molly 2004: *Fiziksel cismini değiştirebilmenin tuhaf geldiğini söylemeliyim. Demek istediğim, senin –benim– sürekliliğimiz nerede?*

Molly 2104: *2004 yılındaki sürekliliğinle aynı. Sen de parçacıklarını sürekli olarak değiştiriyorsun. Sürekliliği olan yalnızca bilgi örüntün.*

Molly 2004: *Ama 2104 yılında bilgi örüntünü de çabucak değiştirebiliyorsun. Ben bunu henüz yapamıyorum.*

Molly 2104: *Gerçekte o kadar da farklı değil. Sen örüntünü, yani belleğini, becerilerini, deneyimlerini, hatta zaman içinde kişiliğini değiştirebiliyorsun, ama bir süreklilik var, yalnızca zaman içinde yavaş yavaş değişen bir öz.*

Molly 2004: *Ama ben senin görünümünü ve kişiliğini bir anda bütünüyle değiştirebildiğini sanıyordum?*

Molly 2104: *Evet, ama bu yalnızca yüzeyde görünen. Gerçek özüm yavaş yavaş değişiyor, tıpkı 2004 yılında senken olduğu gibi.*

Molly *2004: Eh, görünüşümü yüzeysel olarak, bir anda seve seve değiştirmek istediğim çok zaman oluyor.*

Robotbilim: Güçlü Yapay Zekâ

Turing'in ileri sürdüğü bir başka görüşü ele alın. Şimdiye kadar kurduklarımız oldukça basit, öngörülebilirdi. Makinelerimizin karmaşıklığını artırdıkça, belki de bizi bekleyen sürprizler olduğunu göreceğiz. Turing, bir fisyon reaktörüyle paralellik kuruyor. Belli bir "eleştirel" büyüklüğünün altında pek bir şey olmaz; ama bu eleştirel noktanın üzerine çıkıldığında kıvılcımlar uçuşmaya başlar. Belki beyin ve makineler için de durum budur. Çoğu beyin ve tüm makineler şu anda "eleştirel altı" düzeyde –gelen uyarıcılara hantal, cansız bir biçimde tepki veriyorlar, kendilerine ait bir düşünceleri yok, yalnızca stoktaki yanıtları kullanabiliyorlar– ama günümüzün bazı beyinleri, büyük olasılıkla da geleceğin bazı makineleri, eleştirel üstüdürler, yetenekleriyle ışık saçarlar. Turing, konunun yalnızca karmaşıklık sorunu olduğunu, belli bir karmaşıklık düzeyinin üzerine çıkıldığında niteliksel farkın ortaya çıktığını, "eleştirel üstü" makinelerin, o güne kadar tasarımlanan basitlerine hiçbir biçimde benzemeyeceğini öne sürer.

—J. R. Lucas, Oxford'lu felsefeci, 1961 tarihli "Minds, Machines and Gödel" ["Akıl, Makine ve Gödel"] adlı makalesinde[157]

Günün birinde teknoloji süper zekâyı yapacak düzeye geleceğine göre, acaba insanlar bunu yapmayı isteyecekler mi? Bu soruya gayet emin bir biçimde olumlu yanıt vermek mümkün. Süper zekâya giden yolda atılan her adım, ekonomide fazlasıyla karşılığını bulacaktır. Bilgisayar endüstrisi, gelecek kuşak donanım ve yazılıma büyük yatırımlar yapmaktadır. Rekabet baskısı ve bu işte kâr olduğu sürece de yatırımlarını sürdüreceklerdir. İnsanlar daha iyi bilgisayarlar, daha akıllı yazılımlar ve bu makineler sayesinde elde edecekleri ayrıcalıkları istiyorlar. Daha iyi tıp ilaçları, insanların sıkıcı ve tehlikeli işleri üstlenmekten kurtulması, eğlence...; tüketiciye sağladığı yararların listesinin sonu yoktur. Yapay zekânın geliştirilmesi için ayrıca çok güçlü bir askeri neden de vardır. Bu yolun herhangi bir yerinde teknofobiklerin, "Tamam buraya kadar ama daha ileri olmaz," diyebilecekleri herhangi bir doğal durma noktası yoktur.

—Nick Bostrom, "How Long Before Superintelligence?" ["Süper Zekâya Ne Kadar Kaldı?"] 1997

Süper zekânın çözemeyeceği ya da en azından bizim çözmemize yardım edemeyeceği herhangi bir problemi düşünmek zordur. Hastalık, yoksulluk, çevrenin yok edilmesi, tüm türlerin gereksiz çektiği acı: Bunlar, gelişmiş nano teknolojiyle donanmış bir süper zekânın ortadan kaldırabileceği türdendir. Ayrıca, nanoilaç kullanımı ya da kendimizi yükleme seçenekleriyle, yaşlanma sürecini ya durdurarak ya da tersine çevirerek, süper zekâ bize sonsuz yaşam süresi verebilir. Bir süper zekâ ayrıca kendi düşünce ve duygu yeteneklerimizi büyük ölçüde artırabilmemizi sağlayan olanakları da yaratabilir. Kendimizi eğlenceli oyunlar oynamaya, birbirimizle ilişki kurmaya, deneyimlerimize, kişisel gelişime ve ideallerimize yakın yaşamaya adayarak yaşamımızı sürdüre-

157 Douglas Hofstadter'in verdiği alıntı: *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid* (New York: Basic Books, 1979).

bileceğimiz, oldukça çekici bir deneysel dünya yaratmamıza yardım edebilir.

—Nick Bostrom, "Ethical Issues in Advanced Artificial Intelligence" ["İleri Yapay Zekâda Etik Sorunlar"] 2003

Robotlar dünyayı devralacaklar mı? Evet, ama onlar bizim çocuklarımız olacak.

—Marvin Minsky, 1995

Tekilliği hazırlayan başat üç devrim (G, N, R) arasında en derin etkisi olan, insanların geliştirilmemiş zekâsının ilerisine geçebilecek, biyolojik olmayan zekânın yaratılmasını ifade eden R'dir. Zekâ düzeyi daha ileri bir süreç, daha az zeki olanı doğal olarak geride bırakacak, zekâyı evrenin en güçlü kuvvetine dönüştürecektir.

GNR'nin R'si robotbilimi temsil etmekle birlikte buradaki esas konu, güçlü yapay zekâdır (insan zekâsının ilerisine geçen yapay zekâ). Bu formülde robotbilimin vurgulanmasının standart nedeni, dünyayı etkileyebilmesi için zekânın bir cisimle somutlaşmaya, fiziksel bir varlığa gereksinimi olmasıdır. Ancak, ben fiziksel varlığın vurgulanmasına katılmıyorum, çünkü buradaki asal konu zekâdır. Zekâ, kendini cisimleştirmenin ve fiziksel olarak yönlendirmenin kendine özgü yollarını da yaratarak, dünyayı etkilemenin yöntemini doğal olarak bulacaktır. Ayrıca, fiziksel becerileri zekânın temel bir parçası sayabiliriz; örneğin, insan beyninin büyük bir bölümü (nöronlarımızın yarısından fazlasını barındıran beyincik) becerilerimizin ve kaslarımızın koordinasyonunun yürütülmesine ayrılmıştır.

İnsan düzeylerindeki yapay zekâ, birkaç nedenle insan zekâsının çok ilerisine geçecektir. Daha önce belirttiğim gibi, makineler bilgilerini kolaylıkla paylaşabilirler. Gelişmemiş insanlar olarak, yavaş, dile dayalı iletişimin dışında, öğrenme yeteneğimizi, bilgi ve becerilerimizi barındıran hücre bağlantıları ile nöro-ileticilerin derişim düzeylerinin sonsuz gibi görünen örüntülerini paylaşmanın yöntemlerine sahip değiliz. Bizi diğer hayvanlardan farklılaştırıp, teknolojinin yaratılmasını sağlayan etmen olarak bu iletişim yöntemi de elbette oldukça yararlı olmuştur.

İnsan becerileri yalnızca evrimin desteklediği biçimlerde gelişebilmektedir. Temelde yoğun paralel örüntü tanıma sürecine dayanan bu beceriler, yüzlerin ayırt edilmesi, nesnelerin tanınması, dil seslerinin tanınması gibi belli işlerin yürütülmesinde yeterlilik sağlamaktadır. Ancak, mali verilerin düzeninin belirlenmesi gibi birçok iş için de uygun değildir. Örüntü tanıma paradigmalarını tam olarak anladığımızda, makinelerin kullandıkları yöntemler bu teknikleri her tür örüntüye uygulayabilecektir.[158]

Makineler, insanların yapamadıkları yöntemlerle kaynaklarını bir havuzda toplarlar. İnsanların oluşturdukları ekipler, bir insanın tek başına elde edemeyeceği fiziksel ve zihinsel başarıları elde edebiliyor olsalar da, makineler bilgi işlem, bellek ve iletişim kaynaklarını kolaylıkla ve çabucak birleştirebilmektedirler. Daha önce irdelendiği gibi, internet tüm dünyayı kapsayan, çok çabuk bir araya getirilerek yoğun süper bilgisayarlar oluşturabilen bir bilgi işlem kaynağı olarak gelişmektedir.

Makinelerin bellekleri kesindir. Milyarlarca veriyi kesin doğrulukla öğrenebilen günümüz bilgisayarlarının bu kapasiteleri her yıl iki katına çıkmaktadır.[159] Doğrudan bilgi işlemin temelini oluşturan hız ve fiyat performansı her yıl ikiye katlanmakta, ikiye katlanmasının hızı da giderek ivme kazanmaktadır.

İnsan bilgisi ağa geçirildikçe, makineler de insan–makine bilgisinin tamamını okuyabilecek, anlayabilecek ve sentezleyebilecekler. Biyolojik bir insanın, insanların sahip olduğu bilimsel bilginin tamamını kavrayabilmesi bundan yüz yıl önceydi.

Makine zekâsının bir başka avantajı da, en üst düzeyde, kesintisiz biçimde çalışabilmesi, en ileri becerilerini birleştirebilmesidir. İnsanlar arasındaysa, bir kişi müzik besteleme yeteneğini geliştirmiştir, diğeri transistör tasarımı becerisini geliştirmiştir; ama beyinlerimizin bu değişmez mimarisiyle, giderek daha fazla uzmanlık gerektiren alanların her birinde en üst beceri düzeyine erişip, bu alanları en üst düzeyde kullanacak kapasitemiz (ya da

---

158 Yazar, FATKAT (Financial Accelerating Transactions by Kurzweil Adaptive Technologies) adındaki bir şirket yönetmektedir. Bu şirket, menkul değerlere yatırım kararlarının alınması için bilgisayarlı örüntü tanıma yöntemlerini mali verilere uygulamaktadır; http://www.FatKat.com.

159 *Bkz.* ikinci bölümde verilen, bilgisayar belleğinin ve genelde elektroniğin fiyat performansının kaydettiği gelişmeler.

zamanımız) yoktur. İnsanlar belirli bir beceride farklılık gösterirler; örneğin insanların müzik besteleme düzeyinden söz edildiğinde, söz ettiğimiz Beethoven midir, yoksa ortalama bir insan mı? Biyolojik olmayan zekâ her alanda insan zekâsının doruk düzeyine erişecek, ilerisine de geçecektir.

Bu nedenlerle, bir bilgisayar insan zekâsının inceliğine ve erimine ulaştığında, bu noktayı mutlaka hızla aşıp çift üstel yükselişini sürdürecektir.

Tekillikle ilgili temel sorulardan biri, "tavuğun mu" (güçlü yapay zekâ) yoksa "yumurtanın mı" (nano teknoloji) önce geldiği sorusudur. Bir başka deyişle, güçlü yapay zekâ, tam gelişmiş nano teknolojiyi mi (bilgiyi fiziksel ürünlere dönüştürebilen moleküler üretim birleştiricileri) getirecek yoksa tam gelişmiş nano teknoloji mi güçlü yapay zekâyı getirecek? Birinci önermenin mantığı, biraz önce belirtilen nedenlerle güçlü yapay zekânın süper insan yapay zekâsı anlamına geleceği, süper insan yapay zekâsının da tam gelişmiş nano teknolojinin uygulanması için diğer tüm tasarım sorunlarını çözebilecek konumda olacağıdır.

İkinci önermeyse güçlü yapay zekânın donanım gereksinimlerinin nano teknoloji tabanlı bilgi işlem tarafından karşılanacağı düşüncesine dayanır. Benzer biçimde yazılım gereksinimleri de, insan beyninin çalışmasının çok ayrıntılı taramalarını oluşturabilecek, dolayısıyla insan beyni üzerinde ters mühendislik işleminin tamamlanmasını başaracak olan nanobotlar tarafından sağlanacaktır.

Her iki önerme de mantıklıdır; her iki teknolojinin de diğerini destekleyebileceği açıktır. İşin gerçeği, her iki alanda da kaydedilecek ilerlemenin mutlaka bizim en gelişmiş araçlarımızı kullanacağı, dolayısıyla alanların her birindeki gelişmelerin aynı zamanda diğerine zemin hazırlayacağıdır. Bununla birlikte, tam gelişmiş MNT'nin, yalnızca birkaç yıl da olsa, güçlü yapay zekâdan önce ortaya çıkmasını bekliyorum (nano teknoloji 2025 dolaylarında, güçlü yapay zekâ 2029 dolaylarında).

Nano teknolojinin devrim yaratacağı ölçüde, güçlü yapay zekâ da çok daha derin sonuçlar getirecektir. Nano teknoloji güçlüdür, ama mutlaka zeki değildir. Nano teknolojinin olağanüstü gücünü yönetmeye çalışmanın yollarını en azından tasarlayabiliriz; ama süper zekâ, doğası gereği kontrol edilemez.

Kaçak Yapay Zekâ. Bir kez başarıldıktan sonra, güçlü yapay zekâ kolaylıkla geliştirilebilir, güçleri kat kat artırılabilir; çünkü bu, makine yeteneklerinin temel doğasıdır. Bir güçlü yapay zekâ hemen birçok güçlü yapay zekâyı doğuracağı için, yeniler kendi tasarımlarına erişip, tasarımlarını anlayıp geliştirecekler, böylece hızla daha da yetenekli, daha da zeki yapay zekâlara dönüşecekler ve bu döngü sonsuza kadar yinelenecektir. Her döngü yalnızca daha zeki bir yapay zekâ yaratmakla kalmayacak, teknolojik evrimin (ya da her evrim sürecinin) doğasının gerektirdiği gibi, aynı zamanda bir önceki döngüden daha kısa süre gerektirecektir. İleri sürülen görüş, güçlü yapay zekânın bir kez başarılmasından sonra, bunun, hızla yükselen süper zekânın kontrol edilemez bir olguya dönüşeceğidir.[160]

Benim görüşümse bundan çok az farklıdır. Kaçak yapay zekâ mantığı geçerlidir ama zamanlamasını da göz önüne almamız gerekir. Bir makinede insanın sahip olduğu düzeylere erişilmesi, *bir anda* kaçaklık olgusuna neden oluvermeyecektir. İnsanın zekâ düzeyinin sınırları olduğunu düşünün. Bugün bunun yaklaşık altı milyar kadar örneği vardır. Bir alışveriş merkezindeki yüz insanın yer aldığı bir senaryo düşünün. Bu grup oldukça iyi eğitimli kişilerden oluşan bir örnek olacaktır. Ancak bu gruba insan zekâsını iyileştirme görevi verilse, kendilerine insan zekâsının şablonları da sağlansa, pek fazla yol kat edilemeyecektir. Bu grup büyük olasılıkla basit bir bilgisayarı oluşturmakta bile sıkıntı yaşayacaktır. Bu sorun, bu yüz kişinin düşüncelerinin hızlandırılıp bellek kapasitelerinin artırılmasıyla da hemen çözülmeyecektir.

---

160 Kaçak yapay zekâ, Max More'un şu şekilde betimlediği bir senoryoya atıf yapmaktadır: "İşin başında insan yararına çalıştırılan süper zeki makineler, kısa süre içinde bizi geride bırakır." Max More, "Embrace, Don't Relinquish, the Future," http://www.KurzweilAI.net/articles/art0106.html?printable=1. Ayrıca, *bkz.* Damien Broderick'in "Çekirdek yapay zekâ" tanımı: "Kendini geliştiren bir çekirdek yapay zekâ, bir makinenin sınırlı alt katmanında son derece yavaş işleyebilir. Mesele, kendini geliştirme kapasitesi olduğu sürece, bir noktada sarsılarak bunu yapacağı, önüne çıkan mimari darboğazları delip geçerek kendi gelişmiş donanımını tasarlayacağı, belki de (eğer fabrikasındaki araçları kontrol etme izni varsa) kuracağıdır." Damien Broderick, "Tearing Toward the Spike,""Australia at the Crossroads? Scenarios and Strategies for the Future"da sunum (31 Nisan–2 Mayıs 2000), KurzweilAI.net'te yayımlanmıştır, 7 Mayıs 2001, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0173.html.

Yukarıda, makinelerin her beceri alanında insanların eriştikleri en üst düzeye erişeceklerine (bu düzeyi de büyük hızla aşacaklarına) işaret ettim. Onun için, yukarıdaki örnek yerine bilim insanları ile mühendislerden oluşan 100 kişilik bir grubu ele alalım. Teknik eğitim almış, doğru birikimlere sahip bir grup insan anlaşılır tasarımlar geliştirebilecektir. Eğer bir makine, her biri bir biyolojik insandan çok daha hızlı çalışan yüz (giderek de bin, sonra milyon) teknik eğitim almış insanın düzeyine denk gelirse, zekânın hızla ivme kazanması da bunun ardından gelecektir.

Ancak bu ivme, bir bilgisayarın Turing testini geçmesiyle hemen oluşmayacaktır. Turing testi, ortalama, eğitimli bir insanın yeteneklerine karşılık gelen bir kıyaslama yapmaktadır, bu nedenle de alışveriş merkezindeki insanların örneğine daha yakındır. Bilgisayarların gerekli tüm becerilerde ustalaşmaları, bu becerileri gerekli bilgi temelleriyle ilişkilendirmeleri zaman alacaktır.

Turing testini geçebilecek bir makine yapmayı başardığımızda (2029 yılı dolaylarında), ardından gelen dönem, biyolojik olmayan zekânın hızlı kazanımlar elde edeceği bir pekiştirme dönemi olacaktır. Ancak Tekillik için tasarımlanan, insan zekâsının milyarlarla çarpıldığı o olağanüstü gelişme, (üçüncü bölümde irdelendiği gibi) 2040'ların ortalarına kadar gerçekleşmeyecektir.

Yapay Zekâ Kışı

> Ortalarda yapay zekânın başarısız olduğu konusunda aptalca bir efsane dolaşıyor; ama yapay zekâ günün her anında her yerde. Yalnızca insanlar bunu fark etmiyor. Arabanızda, yakıt enjeksiyon sisteminin parametrelerini ayarlayan yapay zekâ sistemleri var. Uçakla yere indiğinizde terminalde gideceğiniz kapıyı bir yapay zekâ planlama sistemi seçer. Bir Microsoft yazılımı kullandığınızda, sizin ne yaptığınızı, örneğin mektup mu yazdığınızı anlamaya çalışan, bu işi çok da iyi yapan bir yapay zekâ sistemi işler. Bilgisayarla çizilmiş karakterlerin oynadığı bir film izlediğinizde bunların hepsi bir grup olarak davranan küçük yapay zekâ karakterleridir. Ne zaman bir video oyunu oynasanız, bir yapay zekâ sistemine karşı oynarsınız.
>
> —Rodney Brooks, MIT Yapay Zekâ Laboratuvarı Direktörü[161]

161 David Talbot, "Lord of the Robots," *Technology Review* (Nisan 2002).

Hâlâ yapay zekânın 1980'lerde tükendiğini öne süren insanlara rastlıyorum. Bu, internetin, 2000'lerin başında yaşanan dot–com krizinde öldüğünü savunmak gibidir.[162] internet teknolojilerinin bant genişliği ve fiyat performansı, düğüm (sunucu) sayısı, e–ticaretin dolar hacmi, bunların tümü de, patlama döneminde olduğu gibi kriz döneminde ve o dönemlerden bugüne pürüzsüz bir biçimde ivme kazanmıştır. Aynı şey yapay zekâ için de geçerlidir.

Bir paradigma değişiminin teknolojik eğilim döngüsü –demiryolları, yapay zekâ, internet, telekomünikasyon, büyük olasılıkla şimdi de nano teknoloji– tipik olarak, o değişime olanak sağlayan tüm gerekli etmenlerin anlaşılmamış olmasından doğan, gerçekçi olmayan beklentilerle başlar. Yeni paradigmanın kullanımı üstel olarak gelişse de, başlangıçtan üstel eğrinin dirseğine ulaşıncaya kadar oluşan gelişme yavaştır. Devrimsel değişim konusundaki yaygın beklentiler doğru ama zamanlamalar yanlıştır. Gelecekten beklentiler kısa zamanda gerçekleşip meyvelerini vermeye başlamazsa, düş kırıklığı dönemi başlar. Ancak üstel gelişme, yine de şiddeti azalmadan sürer, yıllar sonra da daha olgun, daha gerçekçi bir dönüşüm ortaya çıkar.

Bunu, on dokuzuncu yüzyıldaki demiryolu çılgınlığının ardından yaşanan iflasların yaygınlığında gördük. (Tarih belgeleri koleksiyonumda ilk çıkarılan ve ödenmemiş bu demiryolu tahvillerinden birkaçı var.) Birkaç yıl öncesinin, sonuçlarını yeni yeni

---

162 Heather Havenstein, "1980'lerde bilimkurgu yazarlarının, insan ile makinenin birleşmesi konusunda yumurtladıkları şişirilmiş kavramlar yapay zekânın imajını lekelemiştir, çünkü yapay zekânın potansiyelini karşılayamadığı algısı oluşmuştur," diye yazar. Heather Havestein, "Spring Comes to AI Winter: A Thousand Applications Bloom in Medicine, Customer Service, Education and Manufacturing," *Computerworld*, 14 Şubat 2005, http://www.computerworld.com/softwaretopics/software/story/0,10801,99691,00.html. Bu lekelenmiş imaj, "Yapay Zekâ Kışı"na yol açmıştır. Yapay Zekâ Kışı, "Richard Gabriel'in, 1980'lerdeki patlamanın ardından (1990–1994? dolaylarında) ortaya çıkan, Yapay Zekânın Lisp dili ve yapay zekânın kendisine duyulan coşku dalgasının çöküşü için ürettiği bir terimdir." Duane Rettig şöyle yazar: "...80'lerin başlarında şirketler o büyük yapay zekâ dalgasıyla sürüklendiğinde, büyük şirketler milyarlarca doları, 10 yıl içinde düşünen makineler vaat eden yapay zekâ yutturmacasına akıttılar. Verdikleri sözler tahminlrinden zorlu çıkınca da yapay zekâ dalgası, Yapay zekâya olan bağından dolayı onunla birlikte Lisp de çöktü. Buna Yapay Zekâ Kışı diyoruz." Duane Rettig, "AI Winter" içinde alıntı, http://c2.com/cgi/wiki?AiWinter.

üzerimizden attığımız bir durgunluğu körükleyen e–ticaret ve telekomünikasyon krizlerinin etkilerini de hâlâ hissediyoruz.

Allen Newell, J. C. Shaw ve Herbert Simon'un yaptıkları, Bertrand Russell gibi matematikçileri şaşkına çeviren teoremleri kanıtlayabilen, 1957'nin Genel Problem Çözücüsü ile MIT Yapay Zekâ Laboratuvarından ilk çıkan ve SAT sınavının sorularını (örneğin, analojiler, öykü içeren soruları) üniversite öğrencileriyle aynı düzeyde çözebilen programlar gibi programların ortaya çıkmasının ardından, yapay zekâ için de benzer biçimde erken bir iyimserlik yaşandı.[163] 1970'lerde bir yapay zekâ şirketleri furyası ortaya çıktı, beklenen kârlar elde edilemeyince de 1980'lerde, "Yapay Zekâ Kışı" olarak anılan bir yapay zekâ "krizi" yaşandı. Birçok gözlemci, öykünün yapay zekâ kışıyla sona erdiğini, o dönemden bu yana yapay zekâ alanından hiçbir şeyin çıkmadığını hâlâ düşünmektedir.

Yine de, bugün her endüstrinin altyapısının derinliklerinde binlerce yapay zekâ uygulaması yatmaktadır. Bu uygulamaların çoğu, bundan on ya da on beş yıl önce birer araştırma projesiydi. "Yapay zekâya ne oldu ki?" diye soranlar, bana, Yağmur Ormanlarına gidip, birkaç metre ötelerinde, yöre ekolojisiyle ayrılmaz biçimde bütünleşmiş yüzlerce bitki ve hayvan türü gelişirken, "Burada yaşaması gereken onca tür nereye gitti?" diye soran gezginleri düşündürür.

Bir zamanlar insan zekâsı gerektiren yararlı ve belirli bir işlevi, en az insanlar kadar ya da daha iyi yürütebilen yapay zekâyı niteleyen "Dar yapay zekâ" çağında epeyce yol aldık. Dar yapay zekâ sistemleri genelde insanın hızını büyük ölçüde geçtikleri

---

163 1957 yılında yazılan Genel Problem Çözücü bilgisayar programı, kullandığı belli kurallar sayesinde problemin hedeflerini alt hedeflere ayırmakta, ardından belli bir alt hedefin programı, hedefin bütününü çözümüne yakınlaştırıp yakınlaştırmayacağını kontrol ediyordu. 1960'ların başında Thomas Evan, "zekâ testlerinden ve üniversite giriş sınavlarından alınan A:B::C:? biçimindeki geometrik analoji problemlerini çözen bir program olan" ANALOGY'yi yazmıştır. Boicho Kokinov ve Robert M. French, "Computational Models of Analogy–Making," *Encyclopedia of Cognitive Science* içinde, yay. haz. L. Nadel, cilt 1 (Londra: Nature Publishing Group, 2003), s. 113–118. *Ayrıca bkz.* A. Newell, J. C. Shaw ve H. A. Simon, "Report on a General Problem–Solving Program," *Proceedings of The International Conference on Information Processing* içinde Paris: UNESCO House, 1959), s. 256–264; Thomas Evans, "A Heuristic Program to Solve Geometric–Analogy Problems," *Semantic Information Processing* içinde, yay. haz. M. Minsky (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1968).

gibi, binlerce değişkeni eşzamanlı olarak yönetme ve değerlendirme yeteneğini de sağlarlar. Dar yapay zekânın farklı örneklerini aşağıda betimleyeceğim.

İnternet ve telekomünikasyon döngülerinin (on yıllarla değil birkaç yılla ölçülen) görece hızlı ilerleyen evrelerine kıyasla yapay zekânın teknoloji döngüsünün bu zaman dilimleri (birkaç on yıl süren heves, bir on yıl süren düş kırıklığı, sonra on beş yıl boyunca yaygınlaşıp benimsenmesinde yaşanan büyük ilerleme) fazlasıyla uzun gibi gelebilir, ama burada iki etken dikkate alınmalıdır. Birincisi, internet ve telekomünikasyonun döngüleri görece yenidir, yani (birinci bölümde irdelendiği gibi) paradigma değişiminden daha fazla etkilenmişlerdir. Bu nedenle benimsenme sürecinde yakın geçmişte yaşanan döngüler (patlama, kriz, iyileşme), bundan kırk yıl önce başlamış olanlara göre daha hızlı olacaktır. İkincisi, yapay zekâ devrimi, insan uygarlığının yaşayacağı en köklü dönüşümdür; bu nedenle, daha az karmaşık teknolojilerden daha uzun sürede olgunlaşacaktır. Bunu tanımlayan da insan uygarlığının, gerçekten de gezegenimizde yaşanan evrim dalgasının tamamının, en önemli ve en güçlü özelliğine, yani zekâya egemen olunmasıdır.

Bir olguyu anlayıp, o olguyu büyük ölçüde güçlendirmek için yoğunlaşıp odaklanan sistemleri kurmak teknolojinin doğasıdır. Örneğin, bilim insanları, eğimli yüzeylerin, Bernoulli ilkesi olarak bilinen bir özelliğini keşfettiler: Bir gaz (hava gibi), eğimli yüzeyin üzerinden, düz yüzeyin üzerinden geçtiğinden daha hızlı geçer. Bu nedenle de eğimli yüzey üzerindeki havanın basıncı, düz yüzeyin üzerindeki hava basıncından düşüktür. Bu ince ayrımın neden olabileceği sonuçları anlayıp, üzerine odaklanıp, geliştiren mühendislik bilimimiz bütün bir havacılık endüstrisini yaratmıştır. Zekânın ilkelerini de anladığımız zaman, onun da güçlerini anlayıp, üzerine odaklanıp geliştirmenin benzer olanağını elde edeceğiz.

Dördüncü bölümde ele aldığımız gibi, insan beyninin anlaşılıp, modellenerek simüle edilmesi, yani beyin taramanın fiyat performansı ve uzaysal ve zamansal çözünürlüğü, beynin işlevleri hakkında elimizde bulunan veri ve bilgi miktarı, beynin çeşitli bölgelerinin modelleriyle simülasyonlarının kapsamı, her açıdan ivme kazanmakta.

Şu anda elimizde yapay zekâ araştırmalarında ortaya çıkarılarak, birkaç on yıl boyunca işlenip geliştirilmiş güçlü bir dizi aracımız var. Beyinde ters mühendislik projesi, sağlayacağı yeni, biyolojiden esinlenmiş, kendiliğinden düzenlenen bir dizi yöntemle bu araçları büyük çapta geliştirecektir. Sonucunda, mühendisliğin, bugün hepimizin boğuşmak zorunda olduğumuz yüz trilyon kadar son derece yavaş nöron bağlantısının çok ilerisine geçecek biçimde, insan zekâsını odaklayıp büyütme yeteneğini uygulayabileceğiz. O zaman zekâ, bugün bilgi teknolojilerinin gücünü her yıl iki katına çıkaran ivmelenen getiriler yasasına tam olarak tabi olacaktır.

Bu alanda geçirdiğim kırk yıllık sürede gördüğüm başlıca yapay zekâ sorunlarından biri, bir yapay zekâ yönteminin çalıştığı görülür görülmez, artık yapay zekâ olarak düşünülmeyip kendi başına bir alan olarak ayrı bir yere konuluvermesidir (örneğin, karakter tanıma, konuşma tanıma, makine görüşü, robotbilim, veri madenciliği, tıbbi enformatik, otomatik yatırımlar).

Bilgisayar uzmanı Elaine Rich, yapay zekâyı şöyle tanımlar: "Şu anda insanların daha iyi oldukları birtakım şeylerin bilgisayarlara yaptırılması çalışması." MIT Yapay Zekâ Laboratuvarı direktörü Rodney Brooks ise bunu daha farklı açıklamakta: "Ne zaman bir parçasını daha öğrensek, artık büyülü olmaktan çıkar. *Eh, basit bir bilgi işlem*, deriz." Bu bana, Watson'un Sherlock Holmes için söylediklerini de anımsatır: "İşin başında akıllıca bir şey yaptığını düşünmüştüm ama şimdi matah bir şey olmadığını görüyorum."[164] Yapay zekâ araştırmacıları olarak yaşadığımız deneyim budur. Kullandığı yöntemleri anladığımız zaman sanki zekânın büyüsü "hiçe" indirgenir. Kalan gizemi, zekânın geriye kalan, henüz anlaşılmamış yöntemlerinin aşıladığı meraktır.

Yapay Zekânın Araç Kutusu

> Yapay zekâ, üstel zorluğa sahip problemlerin, problemin etki alanı hakkındaki bilgiden yararlanarak çok terimli zamanda çözülmesinin yöntemlerinin araştırılmasıdır.
>
> —Elaine Rich

164 Sir Arthur Conan Doyle, "The Red-Headed League," 1890, http://www.eastoftheweb.com/short-stories/UBooks/RedHead.shtml.

Daha önce dördüncü bölümde belirttiğim gibi, insan beyninin bölgelerinin işleyişinin, yapay zekânın tasarımını etkileyecek yeterliliğe sahip ayrıntılı modellerini elde edebilmemiz çok yenidir. Öncesinde, beynin içini yeterli çözünürlükte izleyebilecek araçlar henüz elimizde yokken, yapay zekâ üzerine çalışan araştırmacı ve mühendisler kendi yöntemlerini geliştiriyorlardı. Havacılık mühendislerinin uçma yeteneğini kuşların uçma yöntemlerine dayanarak modellemedikleri gibi, bu ilk yapay zekâ yöntemleri de doğal zekâ üzerinde ters mühendislik işlemine dayandırılmamıştır.

Burada bu yaklaşımlara küçük bir örnek incelenmektedir. Benimsenmelerinden bu yana bu yöntemler giderek gelişmiş, bu da daha önceki sistemlerdeki kırılganlık ve yüksek hata oranlarına sahip olmayan uygulanabilir ürünlerin oluşturulmasını sağlamıştır.

Uzman Sistemler. 1970'lerde yapay zekâ sıklıkla belirli bir yöntemle özdeşleştiriliyordu: Uzman sistemler. Bu yöntemde, insan uzmanların karar verme sürecini simüle etmek amacıyla belirli mantık kurallarının geliştirilmesi söz konusuydu. Bu yöntemin önemli bir bölümü, karar verme sürecinde geçerli kuralları bir sisteme oturtmak için, bilgi mühendislerinin, doktorlar ve mühendisler gibi, alanın uzmanlarıyla karşılıklı görüşme yapmalarını gerektiriyordu.

Bu alanda, sınırlı sayıdaki testte de olsa, insan doktorlarla kıyaslanabilir tıbbi tanı sistemleri gibi, erken yakalanan başarılar olmuştur. Örneğin, 1970'lerde, bulaşıcı hastalıkların tanısı ve sağaltımı önerilerinde bulunacak MYCIN adı verilen bir sistem üzerinde çalışılmıştır. 1979 yılında uzman değerlendiricilerden oluşan bir ekip, MYCIN'in tanı ve sağaltım önerilerini, insan doktorlarınkilerle kıyaslamış, MYCIN'in doktorlardan herhangi biri kadar ya da daha iyi sonuca ulaştığını belirlemişti.[165] Bu araştırmadan, insanların verdikleri kararların genellikle kesin tanımlanmış mantık kurallarına değil, "daha yumuşak" tipteki kanıtlara dayandığı ortaya çıkmıştır. Tıbbi görüntüleme testinde çıkan bir siyah leke kanser izlenimini uyandırabilir; fakat tam biçimi, yeri ve kontrast

165 V. Yu vd, "Antimicrobial Selection by a Computer: A Blinded Evaluation by Infectious Diseases Experts," *JAMA* 242.12 (1979): 1279–1282.

değeri gibi etkenler büyük olasılıkla tanıyı etkileyecektir. İnsanın kararlarında rol oynayan önsezi çoğu zaman, önceki deneyimlerinden gelen, ancak hiçbiri kendi başına belirleyici olmayan kanıt parçacıklarının toplamından etkilenir. Kullandığımız birçok kuralı çoğu zaman bilinçli olarak fark etmeyiz bile. 1980'lerin sonlarına gelindiğinde uzman sistemler belirsizlik düşüncesini bünyelerinde barındırıyor, bir kararı verirken birçok olasılık kanıtının kaynaklarını birleştirebiliyorlardı. MYCIN sistemi bu yaklaşımın öncülüğünü yapmıştır. Tipik bir MYCIN "kuralı" şöyle der:

> Sağaltılması gereken enfeksiyon menenjit ise, tipi de mantar enfeksiyonuysa ve kültür boyamada organizmalar görülmemişse, hasta riskli konakçı değilse, hasta, çöl humması için endemik olan bir bölgede bulunmamışsa, Siyah, Asyalı ya da Kızılderili ise ve czf testinde kriptokokal antijen pozitif çıkmadıysa, BU DURUMDA kriptokokusun enfeksiyona neden olan organizmalardan biri olmaması olasılığı yüzde 50'dir.

Böylesine basit bir olasılık kuralı tek başına anlamlı bir rapor için yeterli olmasa da, bu türden binlerce kuralın birleştirilmesiyle, kanıtlar sıralanıp düzenlenerek güvenilir kararlar alınması mümkündür.

Galiba en uzun soluklu uzman sistem projesi, Doug Lenat ile Cycorp'taki çalışma arkadaşlarının yaptığı CYC (ansiklopedik –enCYClopedic– sözcüğünden gelir) projesidir. 1984 yılında başlatılan CYC, makinelere insanın düşüncelerinin ve akıl yürütmesinin temelindeki konuşulmayan varsayımları anlama yeteneğini vermek amacıyla sağduyu bilgisini kodlamaktadır. Proje, kesin kodlanmış mantık kurallarından olasılık kurallarına doğru gelişmiş, bugün de yazılı kaynaklardan (insan denetiminde) bilgi çıkarmanın yöntemlerini kapsamakta. Başlangıçtaki hedef, ortalama bir insanın dünya hakkında sahip olduğu bilgilerin yalnızca küçük bir bölümünü yansıtan bir milyon kural oluşturmaktı. Lenat'nın son olarak belirlediği hedef ise, CYC'nin, "2007 yılında tipik bir insanın dünya hakkında bileceği 100 milyon şeyi" öğrenmesidir.[166]

---

166 Gary H. Anthes, "Computerizing Common Sense," *Computerworld*, 8 Nisan 2002, http://www.computerworld.com/news/2002/story/0,11280,69881,00.html.

İddialı bir başka uzman sistem, Japonya'daki Tsukuba Üniversitesinden Biyoloji Bilimleri Doçenti Darryl Macer tarafından yürütülüyor. Macer, tüm insan düşüncelerini birleştiren bir sistem geliştirmeyi planlamakta.[167] Bunun bir uygulaması, karar vericilere hangi toplumun hangi düşünceleri benimsediklerinin bilgisinin verilmesi olabilir.

Bayes Ağları. Son on yıl içinde, Bayesci mantık adı verilen bir yöntem, binlerce hatta milyonlarca olasılık kuralını birleştirmek için, "inanç ağları" ya da Bayes ağları adı verilen sağlam bir matematik temel oluşturmuştur. Orijinal olarak İngiliz matematikçi Thomas Bayes tarafından geliştirilip, 1763 yılında Bayes'in ölümünden sonra yayımlanan yöntem, geçmişte yaşanmış benzer olaylara dayanarak, gelecekteki olayların gerçekleşme olasılıklarının belirlenmesini amaçlamaktadır.[168] Bayes'in yöntemlerini kullanan birçok uzman sistem, deneyimlerden elde edilen verileri sürekli toplamakta, böylelikle sürekli öğrenerek, karar verme süreçlerini geliştirmektedir.

Geleceği en parlak görünen spam filtreleri bu yönteme dayanmaktadır. Ben, "spam" ya da "uygun" olarak belirlemiş olduğunuz e–postalar konusunda kendini eğiten SpamBayes adlı bir spam filtresini kullanıyorum.[169] İşe, her filtre için ayrı bir dosya sunmakla başlıyorsunuz. Filtre, Bayes inanç ağını eğiterek bu iki dosyayı öğretiyor, her birinin örüntüsünün çözümlemesini yapıyor, böylelikle ondan sonra gelecek e–postaların otomatik olarak ilgili gruba taşınmasını sağlıyor. Filtre, ondan sonra gelen her e–postayı, özellikle kullanıcı tarafından düzeltmeler yapıldığında, öğrenmeyi sürdürüyor. Bu filtre benim için, istenmeyen e–postaları baş edilebilir duruma getirdi; günde iki yüz, üç yüz kadar istenmeyen e–postayı ayıklayıp yüz kadar "iyi" iletinin geçmesine izin verdiği düşünülürse, bu bize çok şey anlatmaktadır. "Uygun" olarak belir-

167 Kristen Philipkoski, "Now Here's a Really Big Idea," *Wired News*, 25 Kasım 2002, http://www.wired.com/news/technology/0,1282,56374,00.html, Darryl Macer, "The Next Challenge Is to Map the Human Mind," hakkında haber *Nature* 420 (14 Kasım 2002): 121; *ayrıca bkz.* projenin tanımı: http://www.biol.tsukuba.ac.jp/~macer/index.html.

168 Thomas Bayes, "An Essay Towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances," 1763'de, ölümünden (1761) iki yıl sonra yayımlanmıştır.

169 SpamBayes spam filtresi, http://spambayes.sourceforge.net.

lediği iletiler arasından yalnızca yüzde 1'i aslında spam olabiliyor; hemen hemen hiçbir zaman iyi bir iletiyi istenmeyen olarak işaretlemiyor. Sistem, neredeyse benim kadar hatasız ve benden çok daha hızlı çalışıyor.

Markov Modelleri. Olasılık ağlarının karmaşık bilgi dizilimlerine uygulanmasında başarılı olan bir diğer yöntem de Markov modellerini kullanır.[170] Tanınmış matematikçi Andrey Andreyeviç Markov (1856–1922), daha sonra 1923 yılında Norbert Wiener (1894–1964) tarafından geliştirilen "Markov zincirleri" kuramını oluşturdu. Kuram, belli olaylar dizisinin gerçekleşme olasılığını değerlendiren bir yöntemi sağlamaktaydı. Yöntem, örneğin, diziyi oluşturan olayların ses birimleriyle (konuşmanın bölümleriyle) oluşturulduğu konuşma tanımada popüler oldu. Konuşma tanımada kullanılan Markov modelleri, belirli ses örüntülerinin her ses biriminde bulunma olasılığını, ses birimlerinin birbirlerini nasıl etkilediğini ve ses birimlerinin düzen olasılığını kodlamaktadır. Sistem, daha üst dil düzeylerinde sözcüklerin sırası gibi olasılık ağlarını da kullanabilmektedir. Modellerdeki gerçek olasılıklar, gerçek konuşma ve dil verileriyle eğitilmektedir; yani yöntem, kendiliğinden düzenlenen bir yöntemdir.

Markov modellemesi, çalışma arkadaşlarımla birlikte geliştirdiğimiz kendi konuşma tanıma ürünümüzde kullandığımız yöntemlerden biri.[171] Ses birimi dizilimlerinin belirli kurallarının, insan dilbilimcilerce açık olarak kodlandığı fonetik yaklaşımlarından farklı olarak, biz, İngilizcede yaklaşık kırk dört ses birimi olduğunu sisteme söylemedik. Hangi ses birimi sıralamaları olasılıklarının diğerlerine göre fazla olduğunun bilgisini de vermedik. İnsana ait binlerce saatlik kayıtlı konuşma verisi arasından

---

170 Lawrence R. Rabiner, "A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition," *Proceedings of the IEEE* 77 (1989): 257–286. Markov modellerinin matematik değerlendirmesi için *bkz.* http://jedlik.phy.bme.hu/~gerjanos/HMM/node2.html.

171 1982 yılında yazar tarafından kurulan Kurzweil Applied Intelligence (KAI), 1997 yılında 100 milyon dolara satılmıştır. Bugün halka açık bir şirket olan ScanSoft (önceki adıyla Kurzweil Computer Products, yazarın ilk şirketidir ve 1980 yılında Xerox'a satılmıştır) şirketinin bir bölümüdür. KAI, ilk kapsamlı sözcük dağarcığına sahip ses tanıma sistemini 1987 yılında ticari olarak piyasaya çıkarmıştır. (Kurzweil Voice Report, on bin sözcük içeriyordu).

bu "kuralları" kendi başına keşfetmesi için sistemi serbest bıraktık. Bu yaklaşımın elle kodlanmış kurallara göre avantajı, modellerin, insan uzmanların farkında bile olmadıkları incelikli olasılık kurallarını geliştirebilmesidir.

Nöron Ağları. Konuşma tanıma ve çok çeşitli başka örüntü tanıma işlemlerinde kullanılmış, kendiliğinden düzenlenen bir diğer popüler yöntem de nöron ağlarıdır. Bu yöntemde, basitleştirilmiş bir nöronlar ve nöronlar bağlantı modelinin simülasyonu söz konusudur. Nöron ağlarına bir temel yaklaşım şöyle betimlenebilir: Belirli bir girdinin her noktası (konuşmada her nokta iki boyutu gösterir, bunlardan biri frekans, diğeri zamandır; imgelerde her nokta, iki boyutlu bir imgedeki bir pikseldir), simüle edilen nöronların birinci katmanının girdilerine rastlantısal biçimde bağlanır. Her bağlantının ilişkilendirilmiş olduğu bir sinaptik gücü vardır; bu güç onun önemini gösterir ve rastlantısal bir değerle belirlenmiştir. Her nöron kendine gelen sinyallerin toplamını alır. Eğer birleştirilen sinyaller belirli bir eşiği geçerse, nöron ateşleme yaparak kendi çıktı bağlantısına bir sinyal gönderir; eğer birleştirilen girdi sinyali eşiği geçmezse, nöron ateşleme yapmaz, çıktısı sıfır olur. Her nöronun çıktısı, bir sonraki katmandaki nöronların girdilerine rastlantısal bağlantılıdır. Birçok katman vardır (genellikle üç ya da daha fazla), bu katmanlar çeşitli varyasyonlarla düzenlenebilmektedir. Örneğin, bir katman daha önceki bir katmana geribildirimde bulunabilir. En üst katmanda, bir ya da daha fazla nöronun yine rastlantısal seçilmiş çıktısı, yanıtı verir. (Nöron ağlarının algoritmik betimlemesi için nota bakınız.)[172]

---

172 Nöron ağı algoritmasının basit bir şeması şöyledir: Birçok varyasyon olasıdır, sistemin tasarımcısının aşağıda ayrıntıları verilen belli kritik parametreleri ve yöntemleri belirlemesi gerekir.

Bir probleme nöron ağı çözümü oluşturmak için şu adımlar gereklidir:

- Girdinin tanımlanması.
- Nöron ağının topolojisinin tanımlanması (ör. nöronların ve hücreler arasındaki bağlantıların katmanları).
- Nöron ağının problemin örnekleriyle eğitilmesi.
- Eğitilen nöron ağının çalıştırılarak problemin yeni örneklerinin çözülmesi.
- Nöron ağı şirketinizin halka açılması.

Bu adımların (sonuncusu hariç) ayrıntıları aşağıda verilmektedir:

Problem Girdisi

Problem, nöron ağına bir sayı dizisiyle girilir. Bu girdi şöyle olabilir:

- Görsel örüntü tanıma sisteminde bir imgenin piksellerini gösteren iki boyutlu bir sayı dizisi; ya da
- İşitsel (ör. konuşma) tanıma sisteminde bir sesi gösteren iki boyutlu bir sayı dizisi, birinci boyut sesin parametrelerini (ör. frekans bileşenleri), ikinci boyut ise zaman içindeki farklı noktaları temsil eder; ya da
- Göreli bir örüntü tanıma sisteminde, girdinin örüntüsünü gösteren *n*–boyutlu bir sayı dizisi.

Topolojinin Tanımlanması

Nöron ağını kurmak için her nöronun mimarisinin şunlardan oluşması gerekir:

- Her girdinin ya bir başka nöronun çıktısına ya da girdi sayılarından birine "bağlı" olduğu birçok girdi.
- Genelde, ya bir başka nöronun girdisine (çoğu zaman daha üst bir katmandadır) ya da sonuç çıktısına bağlı olan tek bir çıktı.

Nöronların Birinci Katmanını Düzenleyin

- Birinci katmanda N0 nöron oluşturun. Bu nöronlardan her biri için, nöronun çoklu girdilerinin her birini problemin girdisindeki "puanlara" (yani, sayılara) "bağlayın." Bu bağlantılar ya rastgele ya da bir evrimsel algoritma kullanılarak belirlenebilir (*bkz.* aşağıdaki bölüm).
- Oluşturulan her bağlantı için bir başlangıç "sinaptik güç" belirleyin. Bu ağırlıkların hepsi başlangıçta aynı olabilir, rastgele atanabilir ya da farklı bir yöntemle belirlenebilir (*bkz.* aşağıdaki bölüm).

Nöronların Ek Katmanlarını Düzenleyin

Toplam M sayıda nöron katmanı oluşturun. Her katman için o katmanın nöronları düzenleyin.

Katmanİ için:

- Katmanİ'de Nİ sayıda nöron oluşturun. Bu hücrelerin her birinde, hücrenin çoklu girdilerini katmanİ'deki hücrelerin çıktılarına "bağlayın" (*bkz.* aşağıdaki varyasyonlar).
- Oluşturulan her bağlantı için bir ön "sinaptik güç" belirleyin. Bu ağırlıkların hepsi başlangıçta aynı olabilir, rastgele atanabilir ya da farklı bir yöntemle belirlenebilir (*bkz.* aşağıdaki bölüm).
- KatmanM'deki nöronların çıktıları, nöron ağının çıktılarıdır (*bkz.* aşağıdaki varyasyonlar).

Tanıma Denemeleri

Nöronların Her Biri Nasıl Çalışır

Nöron oluşturulduktan sonra tanıma denemesi için şunları yapar:

- Nörona gelen her ağırlıklı girdi, bu nörona gelen girdinin bağlı olduğu diğer nöronun çıktısı (ya da başlangıç girdisi), o bağlantının sinaptik gücüyle çarpılarak hesaplanır.
- Nörona gelen bu ağırlıklı girdilerin tümü toplanır.
- Eğer elde edilen toplam bu nöronun ateşleme eşiğinden büyükse, o zaman bu nöronun ateşleme yapacağı kabul edilir ve çıktısı 1'dir. Aksi halde çıktısı 0'dır (*bkz.* aşağıdaki varyasyonlar).

Her Tanıma Denemesinde Şunları Yapın

Katman0'dan katmanM'ye kadar her katman için:

Katmandaki her nöron için:

- Ağırlıklı girdilerinin toplamını alın (her ağırlıklı girdi = bu nörona gelen girdinin bağlı olduğu diğer nöronun çıktısının [ya da başlangıç girdisinin], o bağlantının sinaptik gücüyle çarpımı).

- Eğer elde edilen toplam bu nöronun ateşleme eşiğinden büyükse, bu nöronun çıktısını = 1 olarak belirleyin, aksi durumda 0 belirleyin.

Nöron ağını Eğitmek için

- Aynı problemler için tanıma denemelerini üst üste yineleyin.
- Her denemeden sonra nöronlar arasındaki tüm bağlantıların sinaptik güçlerini ayarlayarak nöron ağının bu denemedeki performansını iyileştirin (bunun nasıl yapılacağını öğrenmek için *bkz.* sonraki bölüm).Bu eğitimi nöron ağının doğruluk oranındaki gelişme eğilimi tükenene kadar (yani, asimptota ulaşıncaya kadar) sürdürün.

Kilit Tasarım Kararları

Yukarıdaki basit şemada, bu nöron ağı algoritmasının tasarımcısının başlangıçta şunları belirlemelidir:

- Girdi sayılarının neyi gösterdiği.
- Nöronların katman sayısı.
- Her katmandaki nöron sayısı. (Her katmanda mutlaka aynı sayıda nöron bulunması gerekli değildir.)
- Her katmandaki her nörona gelen girdi sayısı. Girdilerin sayısı (yani merkezi bağlantılar) da hücreden hücrede ve katmandan katmana değişebilir.
- Gerçekteki "kablolama" (yani bağlantılar). Her katmandaki her nöron için bu, çıktıları bu hücrenin girdileri olan diğer hücrelerin listesinden oluşmaktadır. Bu, asal bir tasarım alanını gösterir. Bunu yapmanın birkaç yolu vardır:
  (i) Nöron ağının kablolarını rastgele belirleyin; ya da
  (ii) Optimal bir kablolama belirlemek için evrimsel bir algoritma kullanın (*bkz.* Aşağıdaki kısım); ya da
  (iii) Kablolamanın belirlenmesini sistem tasarımcısının değerlendirmesine bırakın.
- Her bağlantının başlangıç sinaptik gücü (yani ağırlığı). Bunu yapabilmenin birkaç olası yolu vardır:
  (i) Sinaptik güçleri aynı değere ayarlayın; ya da
  (ii) Sinaptik güçleri farklı rastgele değerlere ayarlayın; ya da
  (iii) Bir evrim algoritması kullanarak optimal bir başlangıç değerler kümesi belirleyin; ya da
  (iv) Başlangıç değerlerini sistem tasarımcısının değerlendirmesine bırakın.
- Her nöronun ateşleme eşiği.
- Çıktı. Çıktı şunlar olabilir:
  (i) Nöronlardaki katman^{M}'nin çıktısı; ya da
  (ii) Tek bir çıktı hücresinin çıktısı. Bu çıktı hücresinin girdileri, katman$_{M}$'deki nöronların çıktısıdır; ya da
  (iii) Katman$_{M}$'deki nöronların çıktılarının bir fonksiyonu; ya da
  (iv) Birçok katmandaki hücre çıktılarının başka bir fonksiyonu.
- Bütün bağlantılardaki sinaptik güçlerin bu nöron ağının eğitilmesi sırasında nasıl düzenlendiği. Bu, temel bir tasarım kararıdır, aynı zamanda yoğun araştırma ve tartışmaların konusudur. Bunu yapmanın olası birkaç yolu vardır:
  (i) Her tanıma denemesi için, sinaptik güçlerin her birini nöron ağının çıktısı doğru yanıta çok yakın eşleşinceye kadar (genellikle küçük) sabit bir miktarda artırın ya da azaltın. Bunu yapmanın bir yolu, hem artırmayı hem de azaltmayı deneyip, hangisinin istenen etkiyi verdiğine bakmaktır. Bu zaman alabilir, bunun için, her sinaptik gücü artmak mı yoksa azaltmak mı gerektiğine yerel olarak karar vermenin başka yöntemleri de bulunmaktadır.

Nöron ağının kablolaması ve sinaptik ağırlıklar başlangıçta rastlantısal olarak belirlendiği için, eğitilmemiş bir nöron ağının vereceği yanıtlar da rastlantısal olacaktır. Dolayısıyla, bir nöron ağının anahtarı, o ağın kendi konusunu öğrenmek zorunda olmasıdır. Modellenmesinde genel hatlarıyla örnek alınan memelinin beyni gibi, bir nöron ağı da işin başında eğitimsizdir. Öğrenci nöron ağı doğru çıktıyı ürettiğinde, nöron ağının öğretmeni –bu bir insan, bir bilgisayar programı, belki de dersini öğrenmiş, daha olgun bir diğer nöron ağı olabilir– onu ödüllendirir, doğru yanıtı üretmediğinde de cezalandırır. Öğrenci nöron ağı da bu geribildirimi her hücrelerarası bağlantının gücünü ayarlamak için kullanır. Doğru

---

(ii) Nöron ağının performansının doğru yanıta çok yakın eşleşmesini sağlamak için her tanıma denemesinin ardından sinaptik güçleri değiştirmek için kullanılabilecek başka istatistik yöntemleri de vardır.

Nöron ağı eğitimi, eğitim denemelerinde alınan yanıtların tümü doğru olmasa da geçerli olacaktır. Bu, eğitimde bir hata payını doğal olarak barındıran gerçek dünyanın verilerinin kullanılması olanağını sağlar. Nöron ağı tabanlı tanıma sisteminin başarısının anahtarlarından biri, eğitimde kullanılan veri miktarıdır. Tatmin edici sonuçlar elde edebilmek için genellikle oldukça fazla veri gereklidir. Tıpkı insan öğrenciler gibi, nöron ağının dersini öğrenmek için harcadığı zaman, performansının başlıca etkenlerindendir.

Varyasyonlar

Yukarıdakilerin birçok varyasyonlarını da uygulamak mümkündür:

- Topolojinin belirlenmesinin farklı yolları vardır. Özelde, hücrelerarası kablolamanın ya rastgele olarak ya da bir evrimsel algoritma kullanılarak kurulması mümkündür.
- Başlangıç sinaptik güçlerinin belirlenmesinin farklı yolları vardır.
- Katmanİ'deki nöronlara gelen girdilerin mutlaka katmanİ–1'deki nöronların çıktılarından gelmesi gerekli değildir. Alternatifi, her katmandaki nöronlara gelen girdiler, daha alttaki herhangi bir katmandan ya da herhangi bir katmandan gelebilir.
- Sonuç çıktısını belirlemenin farklı yolları vardır.
- Yukarıda betimlenen yöntem, doğrusalsızlık olarak nitelenen, "tümü ya da hiç" (1 ya da ateşleme sonucunu verir. Kullanılabilecek, başka doğrusal olmayan fonksiyonlar da vardır. Genelde, 0'dan 1'e hızlı ama daha aşamalı biçimde giden bir fonksiyon kullanılır. Aynı zamanda, çıktılar 0 ve 1'den farklı sayılar da olabilir.
- Sinaptik güçlerin eğitim sırasında ayarlanmasının farklı yöntemleri, kilit tasarım kararlarındandır.

Yukarıdaki şema, "zaman uyumlu" bir nöron ağını betimlemektedir; betimlenen bu ağda her tanıma denemesi, katman0'dan başlayarak katmanM'ye (dahil) kadar her katmanın çıktılarının hesaplanmasıyla yürütülür. Her nöronun diğerlerinden bağımsız çalıştığı gerçek bir paralel sistemde nöronlar "zaman uyumsuz" (yani bağımsız) çalışabilirler. Zaman uyumsuz bir yöntemde her nöron sürekli olarak girdilerini tarar, ağırlıklı girdilerinin toplamı eşiğini (ya da çıktı fonksiyonu neyi belirlediyse) aştığı zaman da ateşleme yapar.

yanıtla tutarlı olan bağlantılar güçlendirilir. Yanlış yanıtı savunanlar zayıflatılır. Zaman içinde nöron ağı, doğru yanıtları yönlendirilmeden verebilmek üzere kendini düzenler. Deneyler, öğretmenleri güvenilir olmasa bile nöron ağlarının bile derslerini öğrenebildiklerini göstermiştir. Öğretmen, yalnızca yüzde 60 oranında doğru bilgi verse de öğrenci nöron ağı dersini öğrenecektir.

Güçlü, iyi öğrenim almış bir nöron ağı, insanın çeşitli örüntü tanıma yetilerini taklit edebilir. Çok katmanlı nöron ağlarını kullanan sistemler, el yazısını, insan yüzlerini, kredi kartı masrafları gibi ticari işlemlerde sahteciliği tanımak gibi çok farklı çeşitlilikteki örüntü tanıma görevlerinde etkileyici sonuçlar ortaya koymuştur. Nöron ağlarının benzer bağlamlardaki kullanımlarında kendi edindiğim deneyime göre, teknik çalışmanın en zorlayıcı yanı ağların kodlanması değil, konularını öğrenmek üzere onlara otomatik derslerin verilmesidir.

Artık beyinde uygulanan ters mühendislik işlemlerini kullanarak sinirlerin çalışmasının ayrıntılı modellerini geliştirebildiğimiz günümüzde, nöron ağlarıyla ilgili eğilim gerçek biyolojik nöron ağlarının nasıl çalıştığını gösteren daha gerçekçi ve daha karmaşık modellerden yararlanılması yönündedir.[173] Kendiliğinden düzenlenen paradigmaların kullanımında on yıllara yayılan bir deneyime sahip olduğumuz için, beyin çalışmalarından elde edilecek yeni fikirler nöron ağları deneyimlerine çabucak uyarlanabilecektir.

Nöron ağları paralel işleme de doğal olarak yatkındırlar, zaten beyin de böyle çalışır. İnsan beyninde her nöronu simüle eden bir

173 Beyin üzerinde ters mühendislik işleminin ayrıntılı bir değerlendirmesi için *bkz.* dördüncü bölüm. Bu gelişmenin bir örneğini S. J. Thorpe şöyle yazar: "Primatların görme sistemi üzerinde ters mühendislik işleminin uygulanmasını hedefleyen ve kuşkusuz uzun dönemli olacak bir projeye henüz daha yeni başladık. Şu an için, özünde yalnızca görece az sayıda katman içeren ileri doğru mimarileri kullanan birkaç çok basit mimariyi araştırdık... Gelecek yıllarda primatların ve insanların görme sisteminin bilgi işlem sırlarının mümkün olduğunca çoğunu dahil etmeğe gayret edeceğiz. Daha önemlisi, yakında iğne hücre yönteminin benimsenmesiyle çok büyük nöron ağlarını gerçek zamanlı olarak simüle edebilen karmaşık sistemlerin kurulması mümkün olacak gibi görünmektedir." S. J. Thorpe vd, "Reverse Engineering of the Visual System Using Networks of Spiking Neurons," *Proceedings of the IEEE 2000 International Symposium on Circuits and Systems IV* (IEEE Yayınları), s. 405-408, http://www.sccn.ucsd.edu/~arno/mypapers/thorpe.pdf.

merkezi işlemci bulunmaz. Onun yerine, her nöronu ve her hücrelerarası bağlantıyı ayrı ayrı, yavaş birer işlemci olarak düşünebiliriz. Nöron ağı mimarilerini paralel olarak uygulayarak büyük oranda daha fazla işlem yapabilecek, uzmanlaşmış çiplerin geliştirilmesi için kapsamlı çalışmalar sürmektedir.[174]

Genetik Algoritmalar. Doğadan esinlenmiş olan bir diğer kendiliğinden düzenlenen paradigma da eşeyli üreme ve değişinimler gibi, evrimi taklit eden genetik ya da evrimsel algoritmalardır. Çalışma biçimlerini basitçe açıklamaya çalışalım. Önce, belli bir problemin olası çözümlerini kodlamak için bir yol belirleyin. Eğer problem, bir jet motoru için tasarım parametrelerini optimize ediyorsa, (her parametreye belirli sayıda bitle) parametrelerin listesini belirleyin. Bu liste, genetik algoritmadaki genetik kod olarak düşünülür. Ardından, rastgele binlerce ya da daha fazla genetik kod üretin. Bu genetik kodların (tasarım parametrelerinin bir kümesini gösteren) her biri, simüle edilmiş bir "çözüm" organizması olarak düşünülür.

Şimdi, her parametre kümesini değerlendirmek üzere tanımlanmış bir yöntemi kullanarak, simüle edilen her organizmayı, simüle edilmiş bir ortamda değerlendirin. Bu değerlendirme, bir genetik algoritmanın başarısının anahtarıdır. Örneğimizde, her çözüm organizmasını bir jet motoru simülasyonuna uygulayıp, hangi ölçütle ilgileniyorsak (yakıt tüketimi, hız vb), parametre kümesinin o ölçüte göre ne kadar başarılı olduğunu belirlerdik. En

174 T. Schoenauer vd şöyle yazar: "Son yıllarda, yapay nöron ağları için çok çeşitli donanımlar tasarlanmıştır. ... Bugün, çok geniş bir nöron ağı donanım çeşitliliği arasından seçim yapılabilmektedir. Tasarımlar, nöron çipleri, hızlandırıcı kartlar ve çok kartlı sinirsel bilgisayarlar gibi mimari yaklaşımlarda farklılık gösterdikleri gibi, bir yapay nöron ağı algoritması/algoritmaları ile sistemin çokyönlülüğü gibi sistemin amacıyla ilgili olarak da farklılık göstermektedirler. ... Sayısal sinirsel donanım:[metinde böyle yazılmıştır] sistemin mimarisi, paralellik derecesi, işlemci başına düşen tipik nöron ağı bölümleme, işlemcilerarası iletişim ağı ve numerik gösterime göre sınıflandırılabilir." T. Schoenauer, A. Jahnke, U. Roth ve H. Klar, "Digital Neurohardware: Principles and Perspectives," *Neuronale Netze in der Anwendung* içinde, NN'98, Magdeburg, davetli bildiri (Şubat 1998): 101-106, http://bwrc.eecs.berkeley.edu/People/kcamera/neural/papers/schoenauer98digital.pdf. *Ayrıca bkz.* Yihua Liao, "Neural Networks in Hardware: A Survey" (2001), http://ailab.das.ucdavis.edu/~yihua/research/NNhard ware.pdf.

iyi çözüm organizmalarının (en iyi tasarımların) yaşamda kalmalarına izin verilir, diğerleri yok edilir.

Sonra, yaşamda kalanların her biri çözüm varlığıyla aynı sayıya ulaşıncaya kadar çoğalırlar. Bu, eşeyli üreme simüle edilerek yapılır. Başka deyişle, ortaya çıkan her yeni yavru çözüm, genetik kodunun bir kısmını bir ebeveyninden, diğer bir kısmını da öbür ebeveyninden alır. Genellikle dişi ya da erkek organizmalar arasında ayrım yapılmaz; gelişigüzel iki ebeveynden bir yavru üretmek yeterlidir. Varlıklar çoğalırken kromozomlarda biraz değişinime (rastlantısal değişime) izin verin.

Burada, evrimin simüle edilmiş bir kuşağını tanımladık; şimdi bu adımları arkadan gelen her kuşak için yineleyin. Her kuşak tamamlandığınıda, tasarımlarda görülen gelişmeyi belirleyin. Tasarım varlıklarının değerlendirilmesinde bir kuşaktan diğerine görülen iyileşme çok azaldığında, bu özyinelemeli iyileşme döngüsünü durdurup, en iyi tasarım(lar)ı son kuşakta kullanırız. (Genetik algoritmaların algoritmik betimlemesi için nota bakınız.[175])

175 Genetik (evrim) algoritmasının basit bir şeması şöyledir. Birçok varyasyon olasıdır, sistemin tasarımcısının aşağıda ayrıntıları verilen belli kritik parametreleri ve yöntemleri belirlemesi gerekir.

EVRİM ALGORİTMASI

N çözümlü "yaratıklar" yaratın. Her birinde şunlar olmalıdır:

- Bir genetik kod: Probleme olası bir çözümü niteleyen bir sayı dizisi. Sayılar, kritik parametreleri, çözümün adımlarını, kuralları vs. gösterebilir.

Yaratılacak her evrim için şunları yapın:

- Aşağıdakileri N çözümlü yaratıkların her biri için uygulayın:
  (i) Bu çözüm yaratığının çözümünü (genetik kodunda gösterildiği gibi) probleme ya da simüle edilen ortama uygulayın.
  (ii) Çözüme değer biçin.
- Varlıklarını sonraki kuşağa aktarmak için en yüksek değere sahip L çözüm yaratıklarını secin.
- Yaşamda kalmayan (N – L) çözüm yaratıklarını yok edin.
- Şu yöntemi kullanarak yaşamda kalan L çözüm yaratıklarından yeni (N – L) çözüm yaratıkları yaratın.
  (i) Yaşamda kalan L yaratıklarının kopyalarını üretin. Her kopyaya küçük rastgele varyasyonlar koyun; ya da
  (ii) Yaşamda kalan L yaratıklarından alınan genetik kod bölümlerini birleştirerek (eşeyli üreme yöntemiyle ya da kromozom bölümlerini farklı yöntemle birleştirerek) ek çözüm yaratıkları yaratın; ya da
  (iii) Yukarıdaki (i) ve (ii)'nin birleşimini uygulayın.
- Evrimin sürdürülüp sürdürülmeyeceğini belirleyin:

İyileşme= (bu kuşaktaki en yüksek değer)—(önceki kuşaktaki en yüksek değer) İyileşme < İyileşme Eşiği ise, işimiz tamamlanmıştır.

Genetik algoritmaların anahtarı, insan tasarımcıların bir çözümü doğrudan programlamamalarıdır; onun yerine, çözümün, döngülü bir rekabet ve iyileşme sürecinin simülasyonunun içinden çıkmasını sağlarlar. İrdelediğimiz gibi, biyolojik evrim akıllı ama yavaştır, bu nedenle zekâsını geliştirmek için anlama yeteneğini koruyarak düşünme hızını büyük oranda artırıyoruz. Bilgisayar, birçok kuşağı birkaç saat, gün ya da hafta içinde simüle edebilecek kadar hızlıdır. Ama bu döngülü süreçten yalnızca bir kez geçmemiz gerekir; simüle edilmiş bu evrimin kendi akışında sürmesini bir kez sağladığımızda, evrilmiş, çok geliştirilmiş kuralları gerçek problemlere büyük bir hızla uygulayabiliriz.

Nöron ağları gibi genetik algoritmalar da, kaotik veride bulunan, incelikli ama yoğun örüntüleri denetleyip kullanmanın bir

---

- Önceki evrim kuşağından gelen en yüksek değerli çözüm yaratığı en iyi çözüme sahiptir. Genetik kodunda tanımlanan çözümü probleme uygulayın.

  Kilit Tasarım Kararları

  Yukarıdaki şemada tasarımcının baştan şunları belirlemesi gereklidir:
- Ana parametreler:

  N

  L

  İyileşme eşiği
- Genetik koddaki sayıların neyi gösterdiği ve çözümün genetik koddan nasıl hesaplandığı.
- Birinci kuşaktaki N çözüm yaratıklarının belirlenmesinin yöntemi. Genelde bunlar yalnızca bir çözümün "akla yatkın" denemeleri olmalıdır. Bu birinci kuşak çözümler konunun çok dışına düşerlerse, evrim algoritması iyi bir çözümde birleşme zorluğu yaşar. Çoğu zaman başlangıçtaki çözüm yaratıklarının makul ölçüde çeşitlilik gösterecek biçimde yaratılması yararlı olacaktır. Bu, evrim sürecinin yalnızca bir "yerel olarak" optimal çözüm bulunmasını önleyecektir.
- Çözümlere nasıl değer verildiği.
- Yaşamda kalan çözüm yaratıklarının nasıl çoğalacakları.

  Varyasyonlar

  Yukarıdakilerin birçok varyasyonu mümkündür. Örneğin:
- Her kuşaktan yaşamda kalan (L) çözüm yaratıklarının sayılarının aynı olması gerekli değildir. Yaşamda kalma kural(lar)ı değişken yaşamda kalan sayılarına izin verebilir.
- Her kuşakta yaratılan yeni çözüm yaratıklarının (N – L) sayılarının aynı olması gerekli değildir. Üreme kuralları nüfüs büyüklüğünden bağımsız olabilir. Üreme, yaşamda kalmayla ilintili olabilir, böylelikle en güçlü olan çözüm yaratıkları en çok üreyebilirler.
- Evrilmenin sürüp sürmeyeceğinin kararı değişebilir. Karar, yalnızca en son kuşak(lar)dan en yüksek değerli çözüm yaratıklarından fazlasını da dikkate alabilir. Ayrıca, en son iki kuşağın ötesine de geçen bir eğilimi de dikkate alabilir.

yoludur. Her olası çözümün değerlendirilmesinde kullanılacak geçerli bir yolun belirlenmesi, genetik algoritmaların başarısının önemli bir gereğidir. Simüle edilen evrimin her kuşağı için birkaç bin olası çözümün dikkate alınması gerektiği için bu değerlendirme hızlı yapılmalıdır.

Genetik algoritmalar, çok fazla değişkenli problemlerin kesin analitik çözümlerinin hesaplanmasında ustadırlar. Örneğin, bir jet motorunun tasarımında yüzden fazla değişken söz konusudur, böyle bir tasarım düzinelerce kısıtın karşılanmasını gerektirir. General Electric şirketinin araştırmacılarının kullandıkları genetik algoritmalar, kısıtları geleneksel yöntemlerden daha kesin doğrulukla karşılayabilen motor tasarımları üretebildiler.

Ancak, genetik algoritmaları kullanırken ne sorduğunuza dikkat etmeniz gerekir. Sussex Üniversitesi araştırmacılarından Jon Bird, bir salıngaç devresinin optimal tasarımını yapmak için bir genetik algoritma kullandı. Birkaç girişimden sonra az sayıda transistör kullanan geleneksel tasarımlar ürettiyse de çalışmanın galibi bir salıngaç değil, basit bir radyo devresi oldu. Anlaşılan, genetik algoritma, radyo devresinin yakınlardaki bir bilgisayardan bir salınım gürültüsü yakaladığını anlamıştı.[176] Genetik algoritmanın çözümü, tablo üzerinde yalnızca tam olarak problemi çözmesi istenen yerlerde çalışmıştı.

Kaos ya da kargaşa kuramı alanının bir parçası olan genetik algoritmalar, karmaşık tedarik zincirlerinin optimizasyonu gibi, farklı durumda çapraşık iş sorunlarına dönüşebilecek problemlerin çözümünde, giderek daha fazla kullanılmakta. Bu yaklaşım tüm endüstride daha analitik yöntemleri kenara itip, bunların yerini almaya başlıyor. (Aşağıdaki örneklere bakınız.) Bu paradigma, örüntüleri tanıma konusunda da beceriklidir, çoğu zaman da nöron ağları ve diğer kendiliğinden düzenlenen yöntemlerle birleştirilmektedir. Bilgisayar yazılımları, özellikle de birbiriyle yarışan kaynaklar arasında hassas bir dengeyi bulması gereken yazılımları yazmanın da daha akla yatkın bir yoludur.

Önde gelen bilimkurgu yazarı Cory Doctorow *usr/bin/god* adlı romanında, bir yapay zekânın geliştirilmesinde bir genetik algo-

---

176 Sam Williams, "When Machines Breed," 12 Ağustos 2004, http://www.salon.com/tech/feature/2004/08/12/evolvable_hardware/index_np.html.

ritmanın ilginç bir türünü kullanır. Genetik algoritma, farklı tekniklerin her biri kendi genetik koduyla nitelenmiş çapraşık birleşimlerine dayanarak çok sayıda zeki sistemler üretir. Bu sistemler sonra bir genetik algoritma kullanarak gelişirler.

Değerlendirme işlevi şöyle çalışır: Her sistem farklı insan sohbet odalarına oturum açıp, kendini bir insan gibi göstermeye çalışır; yani temelde örtülü bir Turing testidir. O sohbet odasındaki insanlardan biri, "Nesin sen, konuşma robotu mu?" (konuşma robotu, günümüzün gelişmişlik düzeyinde, dili insanın düzeyinde anlamaması beklenen otomatik bir program anlamındadır) diye sorarsa değerlendirme sonlanır. Sistem, etkileşimi bitirerek puanını genetik algoritmaya bildirir. Puan, belirtilen biçimde, sorgulanmadan ne kadar süreyle bir insan gibi algılandığına göre belirlenir. Genetik algoritma, insan gibi görünme yeteneğini giderek daha fazla iyileştiren tekniklerin, giderek daha çapraşıklaşan birleşimlerini geliştirir.

Bu düşüncenin temel zorluğu, sistemler yeterli zekâ düzeyine geldikten sonra kestirilebilir bir süre gerektirecek de olsa, değerlendirme işlevinin oldukça yavaş olmasıdır. Değerlendirmeler büyük ölçüde paralel de yürüyebilmektedir. Bu, ilginç bir düşüncedir. Böyle bir genetik algoritmaya, onu besleyecek kadar gelişmiş algoritmalar elde ettiğimizde, Turing yeteneğine sahip bir yapay zekâ uygulanabilir duruma geldiğinde, Turing testini geçme çabasını artık geride bırakmak için gerçekten yararlı bir yöntem olabilir.

Özyinelemeli Arama. Çoğu zaman elimizdeki bir problemi çözebilmek için çok sayıda olası çözüm birleşimi arasında arama yapmamız gerekir. Buna klasik bir örnek satranç türü oyunların oynanmasıdır. Oyuncu bir sonraki hamlesini düşünürken, tüm olası hamlelerinin listesini yapabilir, ardından her olası hamle için rakibinin olası karşı hamlelerinin listesini yapabilir; bu şekilde sürer gider. Ancak insan oyuncular için dallı budaklı bir hamle–karşı hamle "ağacını" akılda tutmak zordur; bu nedenle, örüntü tanıma –önceki deneyimlerine dayanarak durumları tanıma– yeteneğine dayanırlar. Oysa makineler milyonlarca hamle ile karşı hamlenin mantıksal çözümlemesini kullanırlar.

Çoğu oyun programının merkezinde bu türden bir mantık ağacı vardır. Bunun nasıl yapıldığını bir düşünün. Her hamleyi se-

çebilmek için Sonraki En İyi Adımı Seç adlı bir program yaparız. Sonraki En İyi Adımı Seç programı, oyun tahtasının o andaki diziliminden yola çıkarak olası tüm hamlelerin listesini yaparak işe başlar. (Problem bir matematik teoremi çözüyor olsaydı, program, oyunun hamleleri yerine sonraki olası adımların listesini verirdi.) Program, her hamle için, bu hamle oynandığında ne olacağını yansıtan varsayımsal bir dizilim kurar. Artık her böyle varsayımsal dizilim için bizim de bu hamlemiz karşısında rakibimizin ne yapabileceğini düşünmemiz gerekir. Burada özyineleme devreye girer, çünkü Sonraki En İyi Adımı Seç, rakibimizin en iyi hamleyi seçmesi için Sonraki En İyi Adımı Seçi (yani kendisini) çağırır. Bu çağrı üzerine Sonraki En İyi Adımı Seç, bu kez rakibimiz için tüm doğru hamlelerin listesini çıkarır.

Program, zamanımızın yettiği hamle sayısı kadar ileriye bakarak tekrar tekrar kendini çağırır, bu da devasa bir hamle–karşı hamle ağacını oluşturur. Bu da yine üstel büyümeye bir başka örnektir, çünkü bir hamleden (ya da karşı hamleden) sonrasına bakmak, eldeki hesaplama miktarının yaklaşık beşle çarpılmasını gerektirir. Özyinelemeli formülün başarısının anahtarı, bu kocaman olasılıklar ağacının budanmasıyla sonunda büyümesinin durdurulmasıdır. Oyun bağlamında, eğer bir tahtanın dizilimi her iki taraf için de umutsuz görünüyorsa, o zaman program o noktada hamle–karşı hamle ağacının büyümesini durdurup (buna, o ağacın "uçbirim yaprağı" denir), en son ele alınan hamleyi olası bir başarı ya da yenilgi olarak düşünür. İç içe geçmiş tüm bu programlar tamamlandığında program, o andaki gerçek dizilim için olası en iyi hamleyi araştırmak için zamanının yettiği özyinelemeli genişlemenin ve budama algoritmasının niteliğinin sınırları içinde belirlemiş olacaktır. (Genetik algoritmaların algoritmik betimlemesi için nota bakınız.[177])

177 Özyineli aramanın temel düzeni (algoritma betimlemesi) şöyledir. Birçok varyasyon olasıdır, sistemin tasarımcısının aşağıda ayrıntıları verilen belli kritik parametreleri ve yöntemleri belirlemesi gerekir.

ÖZYİNELİ ALGORİTMA

"Sonraki En İyi Adımı Seç" işlevini (programını) tanımlayın. İşlev, "BAŞARI" (problemi çözdük) ya da "BAŞARISIZ" (problemi çözmedik) değerini verecektir. Eğer BAŞARI değerini verirse o zaman işlev ayrıca problemin çözümündeki adımların sıralamasını da verir.

SONRAKİ EN İYİ ADIMI SEÇ şunları yapar:

- Programın bu noktada aralıksız özyinelemeden kaçıp kaçamayacağını belirler. Bu madde ile bundan sonraki iki madde bu kaçış kararıyla ilgilidir. Önce o durumda problemin çözülmüş olup olmadığını belirleyin. Sonraki En İyi Adımı Seç'e yapılan bu çağrı büyük olasılıkla programın kendisini çağırmasından geldiği için artık elimizde tatmin edici bir çözüm vardır. Örnekleri şunlardır:
  (i) Bir oyun söz konusuysa (örneğin satranç), son hamle kazanmamızı sağlar (şah mat gibi).
  (ii) Bir matematik teoreminin çözümünde son adım teoremi kanıtlar.
  (iii) Bir sanat programı söz konusuysa (örneğin, bilgisayarlı ozan ya da besteci) son adım, izleyen sözcük ya da notanın amacını karşılar.

  Eğer problem tatmin edici bir biçimde çözülmüşse program "BAŞARI" değerini ve başarıyı sağlayan adımların sıralamasını verir.
- Eğer problem çözülmemişse, bir çözüme ulaşma umudunun olup olmadığını belirleyin. Örnekleri şunlardır:
  (i) Bir oyun söz konusuysa (örneğin satranç), bu hamle kaybetmemize neden olur (karşı taraftan şah mat gibi).
  (ii) Bir matematik teoreminin çözümünde bu adım teoreme karşı gelir.
  (iii) Bir sanat programı söz konusuysa bu adım, izleyen sözcük ya da notanın amacına karşı gelir

  Eğer bu noktada bir çözüm umudu görülmüyorsa program "BAŞARISIZ" değerini verir.
- Eğer problem ne çözülmüşse ne de özyineli genişletmenin bu noktasında umutsuz olduğu düşünülüyorsa, genişletmenin yine de sonlandırılıp sonlandırılmayacağını belirleyin. Bu, tasarımın kilit yönlerinden biridir ve harcamamız gereken kısıtlı bilgisayar çalışma süresini dikkate alır. Örnekleri şunlardır:
  (i) Bir oyun söz konusuysa (örneğin satranç) bu hamle bizim tarafımızı yeterince "ileriye" ya da "geriye" alır. Bu belirlemenin yapılması o kadar dolaysız olmayabilir, en temel tasarım kararıdır. Bununla birlikte basit yaklaşımlar (örneğin parça değerlerinin toplanması) yine de iyi sonuçlar verebilir. Eğer program bizim tarafımızın yeterince ileride olduğuna karar verirse, o zaman Sonraki En İyi Adımı Seç benzer bir biçimde bizim tarafın kazandığını belirler (yani "BAŞARI" değerini verir). Eğer program bizim tarafımızın yeterince geride olduğuna karar verirse, o zaman Sonraki En İyi Adımı Seç benzer bir biçimde bizim tarafın yenildiğini belirler (yani "BAŞARISIZ" değerini verir).
  (ii) Bir matematik teoreminin çözülmesinde bu adım, kanıtlama adımlarının sıralamasının kanıtı vermeme olasılığının olup olmadığının belirlenmesini gerektirir. Eğer yoksa, o zaman bu yol bırakılmalıdır, Sonraki En İyi Adımı Seç benzer bir biçimde bu adımın teoremi karşılamadığını belirler (yani "BAŞARISIZ" değerini verir). Başarılı sayılabilecek bir orta yol yoktur. Problemi gerçekten çözünceye kadar "BAŞARI" değerini elde edemeyiz. Bu, matematiğin doğasıdır.
  (iii) Bir sanat programı söz konusuysa (örneğin, bilgisayarlı ozan ya da besteci) bu adım, kullanılan adımların sıralamasının (bir şiirdeki sözcükler, müzik parçasının notaları gibi) kanıtı vermeme olasılığının olup olma-

dığının belirlenmesini gerektirir. Eğer yoksa, o zaman bu yol bırakılmalıdır, Sonraki En İyi Adımı Seç benzer bir biçimde bu adımın izleyen adımın amacını bozduğunu belirler (yani "BAŞARISIZ" değerini verir).

- Eğer Sonraki En İyi Adımı Seç (programın ne başarı ya da başarısızlık değerini ne de bu noktada bu yolun sonlandırılması gerektiğini belirlememiş olması nedeniyle) bir değer vermiyorsa, o zaman aralıksız özyineli genişletmeden kaçamamışızdır. Bu durumda artık izleyebilecek olası adımların bir listesini oluştururuz. Problemin tam ifadesi burada devreye girer:
  (i) Bir oyun söz konusuysa (örneğin satranç) bu, tahtanın o andaki durumuna göre "bizim" tarafımızın yapabileceği tüm olası hamlelerin üretilmesini gerektirir. Bu, oyunun kurallarının dolaysız kodlanmasını gerektirir.
  (ii) Bir matematik teoreminin kanıtlanması söz konusuysa bu adım, çözümün bu aşamasında olası aksiyomların ya da daha önce kanıtlanmış teoremlerin listesinin yapılmasını gerektirir.
  (iii) Bir sibernetik sanat programı söz konusuysa bu adım, bu noktada kullanılabilecek olası sözcük/nota/doğru parçalarının listesinin yapılmasını gerektirir.

  Böyle her olası sonraki adım için:
  (i) Bu adım uygulandığında oluşacak varsayımsal durumu oluşturun. Bir oyunda bunun anlamı, tahtanın varsayımsal durumudur. Bir matematik kanıtta bunun anlamı bu adımın (örneğin, aksiyom) kanıta eklenmesidir. Bir sanat programında bunun anlamı bu sözcük/nota/doğru parçasının eklenmesidir.
  (ii) Şimdi, bu varsayımsal durumu incelemesi için Sonraki En İyi Adımı Seç'i çağırın. Program kendisini çağırdığı için bu, tabii ki, özyineleme işleminin devreye girdiği yerdir.
  (iii) Eğer Sonraki En İyi Adımı Seç'e yapılan yukarıdaki çağrı "BAŞARI" değerini verirse, o zaman Sonraki En İyi Adımı Seç çağrısından da (içinde bulunduğumuz) "BAŞARI" değeri kaydedin. Aksi durumda sonraki olası adımı dikkate alın.

  Eğer tüm olası adımlar gözden geçirilmiş ve Sonraki En İyi Adımı Seç çağrısından "BAŞARI" değeri veren sonuç elde edilememişse, o zaman bu Sonraki En İyi Adımı Seç çağrısından (içinde bulunduğumuz) "BAŞARISIZ" değeri kaydedin.

SONRAKİ EN İYİ ADIMI SEÇ'in Sonu

Eğer ilk Sonraki En İyi Adımı Seç çağrısı "BAŞARI" değerini verirse, doğru adımların sıralamasını da verecektir:

(i) Oyun söz konusuysa bu sıralamadaki ilk adım, bundan sonra yapmanız gereken hamledir.

(ii) Matematik teoremi söz konusuysa ise tüm sıralanan adımlar kanıtınızdır.

(iii) Sibernetik sanat programı söz konusuysa adımların dizilişi sanat yapıtınızdır.

Eğer ilk Sonraki En İyi Adımı Seç çağrısı "BAŞARISIZ" değerini verirse, o zaman çizim tahtasına dönmeniz gerekecektir.

Başlıca Tasarım Kararları

Yukarıdaki basit şemada, özyineli algoritmanın tasarımcısının başlangıçta şunları belirlemesi gereklidir:

Özyinelemeli formül matematikte çoğu zaman etkilidir. Oyun hamleleri yerine buradaki "hamleler," ele alınan matematik alanının aksiyomları, yanı sıra da daha önceden kanıtlanmış teoremlerdir. Her noktadaki genişleme, bir kanıta her adımda uygulanması mümkün olan olası aksiyomlardır (ya da önceden kanıtlanmış teoremlerdir). (Newell, Shaw ve Simons, Genel Problem Çözücüde bu yaklaşımı kullanmışlardır.)

Bu örneklerle, özyineleme yalnızca kesin tanımlı kuralların ve hedeflerin olduğu problemler için uygun gibi görünebilir. Ama bilgisayarlı sanat yapıtı üretimi konusunda da gelecek vaat etmektedir. Örneğin, benim tasarımını yaptığım Ray Kurzweil's Cybernetic Poet [Ray Kurzweil'ın Sibernetik Ozanı] adlı program, özyinelemeli bir yöntem kullanmaktadır.[178] Program, her sözcük için bir hedef kümesi oluşturur; şiirin o noktasında istenen belli bir ritim örüntüsünü, şiir yapısını, sözcük seçimini elde eder. Eğer program bu ölçütleri karşılayan bir sözcüğü bulamazsa geri gider, yazmış olduğu sözcüğü siler, biraz önce sildiği sözcük için önceden koymuş olduğu ölçütleri yeniden belirler ve buradan ilerler. Bu da çıkmaza girerse, yine geri gider. Böylelikle geri ve ileri

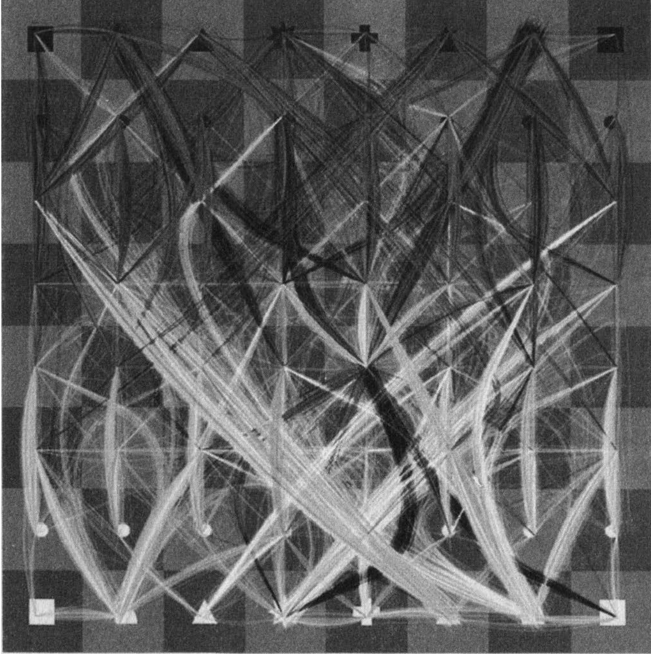
---

- Özyineli bir algoritmanın anahtarı, Sonraki En İyi Adımı Seç'te özyineli genişletmenin ne zaman sonlandırılacağının belirlenmesidir. Program belirgin bir biçimde başarıya (satrançta şah mat, ya da bir matematik ya da birleşimsel probleminin gerektirdiği sonuç) ya da başarısızlığa ulaştığında bunun kararı kolaydır. Net bir başarı ya da başarısızlık elde edilmediği durumlarda daha zordur. Sorgulama çizgisinin net olarak tanımlanmış sonuca ulaşmadan sonlandırılması gereklidir, çünkü aksi durumda programın milyarlarca yıl daha (ya da en azından bilgisayarınızın garanti edilen ömrü tükenene kadar) çalışması gerekebilir.
- Özyineli algoritmanın diğer temel gereksinimi, problemin dolaysız kodlamasıdır. Satranç gibi bir oyunda bu kolaydır. Ancak diğer durumlarda problemin net bir tanımının elde edilmesi her zaman o kadar kolay olmaz.

178 Ray Kurzweil'ın Cybernetic Poet'inin ayrıntılı betimlemesini okumak ve programın ücretsiz bir kopyasını indirmek için *bkz.* http://www.KurzweilCyberArt.com adresinde Kurzweil CyberArt. *Bkz.* ABD Patent No. 6.647.395, "Poet Personalities," icat edenler: Ray Kurzweil ve John Keklak. Özet: "Şiir okumak dahil, bir ozan kişiliği oluşturmanın yöntemi; şiirlerin her biri metin içerir, çözümleme modelleri üretirler; çözümleme modellerinin her biri şiirlerden birini temsil eder ve çözümleme modellerini bir kişilik veri yapısında saklar. Kişilik veri yapısı ayrıca ağırlıkları da içerir; bu ağırlıkların her biri çözümleme modellerinin her biriyle ilişkilidir. Ağırlıklar tamsayı değerlerini içerir."

giderek ilerler. Sonuç olarak, eğer bütün yollar çıkmaza girerse, koymuş olduğu kısıtların bazılarını gevşeterek kendini karar vermeye zorlar.

Siyah (bilgisayar) ... hamlesine karar veriyor



Beyaz (siz)

Matematikçi Martin Wattenberg'in Marek Walczak'la birlikte yaptığı "Düşünen Makineler 2"nin sonraki adımı üzerine düşünürken değerlendirdiği hamle–karşı hamle dizilimi.

Deep Fritz Berabere: İnsanlar mı Akıllanmaya Başladı, Yoksa Bilgisayarlar mı Aptallaşıyor?

Yazılımlarda ortaya çıkan niteliksel iyileşmelerin bir örneğini bilgisayarlı satranç dünyasında görüyoruz. Ortak kanıya göre bu iyileşme yalnızca bilgisayar donanımının deneme yanılma açılımına bağlıdır. 2002 Ekiminde en kıdemli insan oyunculardan Vladimir Kramnik'le oynadığı turnuvada Deep Fritz yazılımı beraberlik aldı. Bir önceki şampiyon bilgisayar Deep Blue gibi Deep Fritz'in de yalnızca yaklaşık yüzde 1,3'lük deneme yanılmayla bilgi işlem yapabildiğine işaret etmek isterim. Buna karşın, üstün örüntü tanımaya dayalı budama algoritması sayesinde, hemen hemen aynı düzeyde satranç oynamakta. Deep Fritz gibi bir program da, altı yılda, yine Deep Blue'nun saniyede iki yüz milyon oyun durumunu çözümleme yeteneğine erişecektir. Deep Fritz gibi sıradan bilgisayarlarda çalışan satranç programları, içinde bulundugumuz on yılın sonlarına doğru kendilerine karşı oynayan tüm insanları her zaman yenebileceklerdir.

1986 ile 1989 yılları arasında yazdığım *The Age of Intelligent Machines* adlı kitabımda, 1990'ların sonuna kadar bilgisayarın, dünyanın insan satranç şampiyonunu yeneceğini öngörmüştüm. Ayrıca, bilgisayarların satranç derecelerinde her yıl yaklaşık kırk beş puan kazandıklarını, oysa insanların ortaya koyabildikleri en iyi oyunun özünde değişmez olduğunu, bu durumun da 1998'de gelinecek bir kesişim noktasını gösterdiğini belirtmiştim. Gerçekten de Deep Blue 1997 yılında, çok ses getiren bir turnuvada Gary Kasparov'u yendi.

Deep Fritz–Kramnik maçında, o dönemin en güçlü bilgisayar programı yalnızca beraberlik elde edebilmişti. Deep Fritz beraberlik elde ettiği zaman Deep Blue'nun zaferinin üzerinden beş yıl geçmiş olduğuna göre bu durumdan neyi anlamalıyız?

1. İnsanların akıllandıklarını ya da en azından daha iyi satranç oynadıklarını mı?
2. Bilgisayarların satrançta kötüleştiklerini mi? Eğer böyleyse, bundan, son beş yılda onca reklamı yapılan bilgisayarın hızındaki gelişmenin övüldüğü kadar olmadığını mı anlamamız gereki? Ya da bilgisayar yazılımının, en azından satrançta, giderek kötüleştiğini mi?

Uzmanlaşmış Donanımın Avantajı

Yukarıda çıkarılan sonuçların hiçbirinin garantisi yoktur. Çıkarılacak doğru sonuç, Deep Fritz, Deep Blue'nun başarısına ulaşmıştığı için yazılımın aslında iyileştiği, bunu da çok daha az bilgi işlem kaynağıyla yaptığıdır. Bu soruların içyüzünü biraz daha iyi kavrayabilmek için birkaç temel noktayı incelememiz gerekir. 1980'lerin sonlarında bilgisayarlı satranç hakkındaki tahminlerimi yazdığım sırada Carnegie Mellon Üniversitesi, "minimaks" algoritmasını (hamle–karşı hamle dizilimleriyle ağaçların kurulmasına, ardından ağacın her dalındaki uçbirim yaprağının konumunun değerlendirilmesine dayanan standart oyun yöntemi) özel olarak satranç hamlelerine uygulamak için özelleştirilmiş çipler geliştirecek bir programı başlatmıştı.

Carnegie Mellon Üniversitesinin bu uzmanlaşmış donanıma dayanan 1988 tarihli satranç makinesi HiTech, saniyede 175.000 dizilimin çözümlemesini yapabiliyordu. Makine, dünya şampiyonu olan insan oyuncunun yalnızca 440 puan altında kalarak, 2359'luk bir satranç derecesini elde etti.

Bir yıl sonra, 1989'da, Carnegie Mellon Üniversitesinin Deep Thought adlı makinesi bu kapasiteyi saniyede bir milyon dizilime yükseltip, 2400'lük bir derece elde etti. Sonunda, projeyi IBM devralıp, adını Deep Blue olarak değiştirdi, ama Carnegie Mellon Üniversitesinin temel mimarisini korudu. 1997 yılında Kasparov'u yenen Deep Blue sürümünde, paralel çalışarak saniyede iki yüz milyon dizilimi çözümleyebilen 256 özel amaçlı satranç işlemcisi bulunuyordu.

Satranç hamleleri için oluşturulacak minimaks algoritmalarının üretimi için gerekli belirli hesaplamaları hızlandırmada uzmanlaşmış donanımın yararına dikkat edilmelidir. Bilgisayar sistem tasarımcıları, uzmanlaşmış donanımın genellikle belirli bir algoritmayı genel amaçlı bilgisayarlara göre en az yüz kat daha hızlı uygulayabildiğini bilirler. Uzmanlaşmış ASIC'ler (uygulamaya özgü tümleşik devre), geliştirme sürecinde büyük çaba ve maliyet gerektirir, ama yinelenen düzendeki (örneğin, MP3 dosyalarının kodlarının çözülmesi ya da temel çizim ögelerinin video oyunları için dönüştürülmesi gibi) hassas hesaplamalarda bu harcama, yapılan yatırımın karşılığını verecektir.

Deep Blue, Deep Fritz'e Karşı

Bir bilgisayarın insan rakibini yenmesiyle, dikkatler yoğun biçimde gelecek dönüm noktası üzerinde toplandığı için, özel amaçlı satranç devrelerine yapılan yatırımlar destekleniyordu. Deep Blue–Kasparov maçının parametreleri konusunda uzayıp giden bazı anlaşmazlıklar yaşanmış olsa da, bilgisayarlı satranca gösterilen ilginin düzeyi 1997'den sonra büyük ölçüde azalmıştır. Sonuçta hedefe ulaşılmıştı, işi uzatmanın gereği yoktu. IBM proje çalışmalarını iptal etti; o zamandan beri de uzmanlaşmış satranç çipleri üzerinde çalışma yapılmadı. Yapay zekânın içinden doğan, uçakların, füzelerin ve fabrika robotlarının yönlendirilmesi, doğal dilin anlaşılması, elektrokardiyogramların ve kan hücresi görüntülerinin tanılanması, kredi kartı sahteciliklerinin saptanması ve başarılı birçok dar yapay zekâ uygulaması gibi çeşitli alanlardaki araştırmalar daha büyük sonuçlar getirecek konulara yoğunlaştı.

Bilgisayar donanımında üstel yükseliş yine de sürdü, kişisel bilgisayarların hızı 1997'den bu yana her yıl ikiye katlandı. Yani, Deep Fritz'in kullandığı genel amaçlı Pentium işlemciler, 1997'nin işlemcilerine göre otuz iki kat daha hızlıdır. Deep Fritz, yalnızca sekiz kişisel bilgisayardan oluşan bir ağ kullanır, yani donanımı 256 adet 1997 sınıfı kişisel bilgisayara eşittir. Bunu, her biri 1997 yılının kişisel bilgisayarlarına göre (tabii yalnızca satranç minimaks hesaplamaları için kullanılan) yüz kat daha hızlı olan 256 uzmanlaşmış satranç işlemcisi kullanan Deep Blue ile kıyaslayın. Sonuçta Deep Blue, 1997 yılının bir kişisel bilgisayarından 25.600 kat, Deep Fritz'den de yüz kat daha hızlıydı. Bu çözümlemeyi, iki sistemin bildirilen hızları doğrulamaktadır: Deep Fritz saniyede 2,5 milyon dizilimi çözümleyebilirken, Deep Blue saniyede 200 milyon tahta dizilimini çözümleyebilmektedir.

Önemli Yazılım Kazanımları

Öyleyse Deep Fritz'in yazılımı hakkında ne söyleyebiliriz? Satranç makinelerinin çoğunlukla deneme yanılma hesaplamasının örnekleri olduğu söylense de, bu sistemlerin niteliksel karar gerektiren önemli bir yanı vardır. Olası hamle–karşı hamle dizilimlerinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan patlama müthiştir.

The Age of Intelligent Machines'de, hamle–karşı hamle ağacını budamayıp, tipik bir oyunda "mükemmel" hamleyi yapma girişiminde bulunduğumuzda, tek bir hamleyi yapmak için kırk milyar yıl gerekeceğini hesaplamıştım. (Tipik bir karşılaşmada her iki tarafın yaklaşık otuz hamle yapacağı ve bir oyunda sekiz olası hamle olacağı varsayımıyla, 8^{30} olası hamle dizilimi elde ederiz; saniyede bir milyar hamlenin çözümlenmesiyle bu 10^{18} saniye ya da kırk milyar yıl edecektir.) Bu nedenle pratik bir sistem, umut vermeyen eylem hatlarını sürekli budamalıdır. Bu, içgörü gerektirir, özünde de bir örüntü tanıma kararıdır.

İnsanlar, dünya çapında satranç ustaları bile, minimaks algoritmasını son derece yavaş yürütür, genellikle saniyede birden az hamle–karşı hamle çözümlemesi yapabilirler. Peki, bu durumda bir satranç ustası bir bilgisayar sistemiyle nasıl rekabet edebilir? Yanıtı, ağacı güçlü bir içgörüyle budamamızı sağlayan çok güçlü örüntü tanıma yeteneğimizin olmasıdır.

Deep Fritz'in Deep Blue'dan çok daha iyi olduğu alan da budur. Deep Fritz'in sahip olduğu bilgi işlem kapasitesi Carnegie Mellon Üniversitesinin Deep Thought'ununkinden biraz fazla olmakla birlikte, onun neredeyse 400 puan üzerindedir.

İnsan Satranç Oyuncuları Mahkum mu Ediliyor?

The Age of Intelligent Machines'de, bilgisayarların satrançta insanlar kadar ya da daha iyi sonuçlar elde edecek düzeye gelmeleriyle birlikte, ya bilgisayar zekâsını daha fazla önemseyip insan zekâsını daha az önemseyeceğimiz ya da satrancı daha az önemseyeceğimiz ve eğer tarih bize bir yolu gösteriyorsa, olası gidişin bunlardan ikincisini doğrulayacağını öngörmüştüm. Gerçekten olan da buydu. Deep Blue'nun zaferinden kısa süre sonra, satrancın aslında birleşimlerin hesaplanmasından ibaret basit bir oyun olduğunu, bilgisayarın zaferinin yalnızca bilgisayarın daha iyi bir hesap makinesi olduğunu gösterdiğini bol bol duymaya başladık.

Gerçek, bundan biraz daha karmaşıktır. İnsanların satrançta başarılı olmalarını sağlayan, tabii ki gerçekten de zayıf olduğumuz hesaplama becerisi değildir. Daha çok insanın doğasından gelen bir karar verme biçimini kullanırız. Bu tür niteliksel kararlarda Deep Fritz kendinden önceki sistemlere

göre çok daha gerçek bir ilerlemeyi temsil etmektedir. (Bu arada, son beş yılda insanlar ilerleme kaydetmediler; en iyi insan dereceleri 2800'ün hemen altında kaldı. 2004 yılında Kasparov 2795, Kramnik ise 2794'e ulaştı.)

Buradan nereye gidebiliriz? Bilgisayarlı satranç, artık kişisel bilgisayarlar üzerinde çalışan yazılıma bağlı olduğuna göre, satranç programları da bilgisayarın aralıksız ivme kazanan gücünden yararlanmayı sürdürecektir. 2009 yılına geldiğimizde, Deep Fritz gibi bir program yine Deep Blue'nun saniyede iki yüz milyon tahta dizilimini çözümleyen kapasitesine erişecektir. İnternetten bilgi işlem gücü toplama olanağıyla, biz de bu potansiyele 2009 yılından önce ulaşabileceğiz. (Bilgisayarların internetten ürün toplaması daha büyük alana yayılmış genişbant iletişimini gerektirecek, bu da yakında gerçekleşecektir.)

Kaçınılması mümkün olmayan bu hız artışları, örüntü tanımada birbiri ardına ortaya çıkan gelişmelerle bilgisayarlı satranç derecelerinin sınırları daha fazla yükselecektir. İçinde bulunduğumuz on yılın sonlarına doğru, sıradan kişisel bilgisayarlar üzerinde çalışan Deep Fritz benzeri programlar rutin olarak bütün insanları yenecektir. O zaman satranca olan ilgimizi gerçekten de yitireceğiz.

Yöntemlerin Birleştirilmesi. Sağlam, dayanıklı yapay zekâ sistemleri kurmanın en etkili yaklaşımı, insan beyninin işleyişine benzer biçimde yöntemlerin birleştirilmesidir. İrdelediğimiz gibi, insan beyni tek bir büyük nöron ağından değil, her biri bilgiyi farklı biçimde işlemek üzere optimize edilmiş yüzlerce bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgelerin hiçbiri tek başına insanın performans düzeyi olarak niteleyeceğimiz düzeyde çalışmaz; ama sistemin bütünü kuşkusuz tanımı gereği bu düzeyi karşılar.

Bu yöntemi kendi yapay zekâ çalışmalarımda, özellikle örüntü tanımada kullandım. Örneğin konuşma tanımada, farklı paradigmalara dayanan birkaç farklı örüntü tanıma sistemini uyguladık. Bunlardan bazıları, uzmanlardan alınan ses ve dil kısıtlamalarıyla ilgili bilgilerle belirli bir biçimde programlandı. Bazıları

cümleleri dilbilgisi açısından çözümleyecek kurallara (sözcük kullanımını gösteren, ilköğretim okullarında öğretilen şemalara benzer sözcük şemalarının kurulmasını gerektiren) dayandırıldı. Bazıları, kaydedilmiş ve açıklamalı insan konuşmasını içeren kapsamlı kitaplıklarla eğitilerek, Markov modelleri gibi kendiliğinden düzenlenme yöntemlerine dayandırıldı. Sonra, farklı "uzmanların" (tanıyıcı) güçlü ve zayıf yanlarını öğrenip, sonuçlarını optimal yöntemlerle birleştirecek bir "uzman yönetici" yazılım programladık. Bu yolla, tek başına sağlıksız sonuçlar verebilecek belirli bir teknik yine de sistemin bütününün doğruluğuna katkıda bulunabilir.

Yapay zekânın araç kutusunda bulunan çeşitli yöntemlerin birleştirilmesinin çok farklı karmaşık yolları vardır. Örneğin, bir genetik algoritma kullanılarak, bir nöron ağının ya da Markov modelinin optimal topolojisi (düğümlerin ve bağlantıların düzeni) geliştirilebilir. Sonra, genetik algoritmayla geliştirilen nöron ağının sonuç çıktısı, bir özyinelemeli arama algoritmasının parametrelerinin denetlenmesinde kullanılabilir. Örüntü işleme sistemleri için geliştirilmiş güçlü sinyal ve görüntü işleme tekniklerini de bunlara ekleyebiliriz. Her belirli uygulama farklı bir mimari gerektirir. Bilgisayar bilimleri profesörü ve yapay zekâ girişimcisi Ben Groetzel, zekânın temelini oluşturan farklı yöntemlerin birleştirilmesine yönelik strateji ve mimarileri anlattığı bir dizi kitap ve makale yazdı. Groetzel'in Novamente mimarisi, genel amaçlı yapay zekâ için bir çerçeve vermeyi amaçlar.[179]

Yukarıda temel düzeyde anlatılanlar, günümüzün yapay zekâ sistemlerinin giderek gelişen tasarımlarına kısa bir bakıştır. Yapay zekâ tekniklerinin kapsamlı açıklamaları bu kitabın amacının ötesindedir, bilgisayar mühendisliği alanındaki bir doktora programı bile bugün kullanılan farklı yaklaşımların tamamını kapsayamamaktadır.

Gerçek dünyadaki dar yapay zekâ sistemlerinin bundan sonraki bölümde tanımlanacak birçok örneğinde, her biri belirli bir

179 Ben Goertzel: *The Structure of Intelligence* (New York: Springer–Verlag, 1993); *The Evolving Mind* (Gordon and Breach, 1993); Chaotic Logic (Plenum, 1994); *From Complexity to Creativity* (Plenum, 1997). Ben Goertzel'in kitap ve makalelerine bağlantı için *bkz.* http://www. goertzel.org/work.html.

görev için eklenip, optimize edilmiş çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Dar yapay zekâ, eşzamanlı gelişen birkaç eğilimin sonucu olarak güçlenmektedir: Bilgi işlem kaynaklarında süregelen üstel kazanımlar, binlerce uygulamayla edinilen kapsamlı gerçek dünya deneyimleri ve insan beyninin zeki kararları nasıl verdiği konusunda ulaştığımız yeni kavrayış.

Daha Dar Bir Dar Yapay Zekâ Örnekleyicisi

1980'lerin sonlarında ilk yapay zekâ kitabım *The Age of Intelligent Machines*'i yazarken, yapay zekânın uygulamada başarılı birkaç örneğini bulabilmek için geniş araştırma yürütmem gerekmişti. İnternet henüz yaygın olmadığından fiziksel kütüphanelere gitmek, ABD, Avrupa ve Asya'daki yapay zekâ araştırma merkezlerini ziyaret etmek zorunda kalmıştım. Belirleyebildiğim akla yatkın örneklerin hemen hepsini kitabıma aldım. Bu kitabım için yaptığım araştırmada yaşadığım deneyim tümden farklıdır. Binlerce çetin örneğin arasında kaldım. KurzweilAI.net sitesinde, neredeyse her gün bir ya da daha fazla etkileyici sistemin haberini yayımlıyoruz.[180]

Business Communications Company'nin 2003 yılında yaptığı bir araştırma, yapay zekâ uygulamaları için 2002'den 2007'ye kadar yılda ortalama yüzde 12,2'lik bir artışla, 2007 yılında 21 milyar dolarlık bir pazar oluşacağını öngördü.[181] Yapay zekâ uygulamalarının önde gelen endüstrileri arasında iş zekâsı, müşteri ilişkileri, finans, savunma ve iç güvenlik, eğitim bulunuyor.

Ordu ve İstihbarat. ABD ordusu, yapay zekâ sistemlerinin doymak bilmez bir kullanıcısıdır. Belirli bir yapıyı, hatta belirli bir pencereyi bulmak için binlerce kilometre uçabilen güdümlü füzeler gibi özerk silahlar, örüntü tanıma yazılım sistemleriyle yön-

---

180 KurzweilAI.net'te (http://www.KurzweilAI.net) yüz "büyük düşünürün" yazdığı yüzlerce makale ile "ivmelenen zekâ" konusunda diğer yayınlar yer almaktadır. Site, bu kitabın kapsamına giren alanlarda yaşanan son gelişmeler hakkında ücretsiz günlük ya da haftalık haber bültenleri sunmaktadır. Abone olmak için sitenin ana sayfasından e–posta adresinizi (bilgiler kesinlikle gizli tutulmakta, dışarıya verilmemektedir) girebilirsiniz.

181 John Gosney, Business Communications Company, "Artificial Intelligence: Burgeoning Applications in Industry," Haziran 2003, http://www.bccresearch.com/comm/G275.html.

lendirilmektedir.[182] Füzenin üzerinden uçtuğu bölgenin gerekli ayrıntıları önceden programlansa da, hava koşullarındaki değişiklikler, toprak yüzeyinin kaplanması gibi birçok etken nedeniyle, esnek bir gerçek zamanlı görüntü tanıma yeteneği gereklidir.

Ordu, bir askeri müfreze yeni bir bölgeye bırakıldığında, binlerce iletişim düğümünü otomatik olarak yapılandırılabilmek için ("örgüsel ağlar" adı verilen) kendiliğinden düzenlenen iletişim ağlarının prototiplerini geliştirmiştir.[183]

Bayesci ağlarla genetik algoritmaları birleştiren uzman sistemler, savaş alanının hızla değişen koşullarına göre, milyonlarca levazım, sarf malzemesi ve silahın eşgüdümünü sağlayan karmaşık tedarik zincirlerinin optimizasyonunda kullanılmaktadır.

Yapay zekâ sistemleri, nükleer bomba ve füzeler de dahil, silahların performans simülasyonlarında düzenli olarak kullanılmaktadır.

11 Eylül 2001 terör saldırıları, Ulusal Güvenlik Ajansının iletişim trafiğinin kapsamlı olarak izlenmesinden elde edilen verileri analiz eden, yapay zekâ tabanlı Echelon sistemi tarafından saptanmıştır.[184] Ama ne yazık ki Echelon'un erken uyarıları insanlı birimler tarafından değerlendirildiğinde artık iş işten geçmişti.

2002 yılında Afganistan'a yapılan askeri harekâtta, insansız robotik savaş uçağı olan silahlı Predator ilk kez kullanıldı. Hava kuvvetlerinin Predator üzerindeki çalışmaları yıllardır sürerken, bir son dakika kararıyla ordunun sağladığı füzelerin uçağa yerleştirilmeleri olağanüstü bir başarıydı. 2003 yılında başlayan Irak savaşında (CIA'nın işlettiği) silahlı Predator ve diğer insansız hava araçları (İHA'lar) binlerce düşman tankını ve füze yerleşimini yok etti.

Robotlar bütün askeri hizmetlerde kullanılıyor. Kara ordusu robotları mağaraları (Afganistan'da) ve binaları aramak için kullanıyor. Deniz ordusu, uçak gemilerini korumak için küçük robotik

182 Kathleen Melymuka, "Good Morning, Dave ...," *Computerworld*, 11 Kasım 2002, http://www.computerworld.com/industrytopics/defense/story/0,10801,75728,00.html.

183 JTRS Teknolojik Farkındalık Bülteni, Ağustos 2004, http://jtrs.army.mil/sections/technicalinformation/fset_technical.html?tech_aware_2004-8.

184 Otis Port, Michael Arndt ve John Carey, "Smart Tools," İlkbahar 2003, http://www.business week.com/bw50/content/mar2003/a3826072.htm.

gemiler kullanıyor. Bundan sonraki bölümde irdeleyeceğim gibi, askerlerin savaşlardan geri hizmete çekilmesi hızla yükselen bir eğilimdir.

Uzay Araştırmaları. NASA, insansız uzay araçlarını yöneten yazılıma kendiliğinden anlama özelliğini yerleştiriyor. Mars'ın dünyaya uzaklığı yaklaşık üç ışık dakikası, Jüpiter'in uzaklığı yaklaşık kırk ışık dakikası (gezegenlerin tam konumuna bağlı olarak) olduğu için, bu gezegenlere giden uzay aracı ile dünyadaki kontrol birimlerinin arasındaki iletişim bağlantısında büyük gecikmeler yaşanmakta. Bu nedenle, bu görevleri yöneten yazılımın kendi taktik kararlarını verebilecek yeteneğe sahip olması önemli. Bunun için NASA yazılımı tasarımı, yazılımın yetenekleri ile uzay aracının yeteneklerinin modelini, ayrıca her iki tarafın da karşılaşması olası zorlukları içerecek şekilde geliştirilmektedir. Bu türden yapay zekâ tabanlı sistemler yalnızca önceden programlanmış kurallara uymak yerine yeni durumlarla karşılaştıklarında mantık yürütebilmektedir. Bu yaklaşım, 1999 yılında *Deep Space One* adlı aracın, bir asteroiti keşfetmek üzere çıktığı görevi sırasında bir anahtarın tutukluk yapması üzerine, kendi teknik bilgisini kullanarak bir dizi plan yapmasını ve görevine zarar verebilecek bu sorunun üstesinden gelmesini sağlamıştır.[185] Yapay zekâ sisteminin ilk planı çalışmamış, ikincisi ise aracı kurtarmıştır. *Deep Space One*'ın özerk yazılımının mucitlerinden, şu anda MIT Uzay Sistemleri ve Yapay Zekâ Laboratuvarları araştırmacılarından biri olan Brian Williams, "Bu sistemler, iç bileşenlerinin fiziğinin sağduyu modeline sahiptirler. [Uzay aracı] bu modeli kullanarak akıl yürütmekte, sorunun nerede olduğunu saptayıp, nasıl davranacağını anlayabilmektedir," diyor.

NASA, bir bilgisayar ağı kullanarak, dünyanın manyetik alanını inceleyecek olan üç adet Space Technology 5 uydusunun anten tasarımını genetik algoritmalarla geliştirdi. Simülasyonu yapılan evrimsel çalışmada milyonlarca olası tasarım birbirleriyle yarıştı. NASA'dan, projenin lideri Jason Lohn' göre, "Artık [genetik algoritmalı] yazılım kullanarak, uzay uçuş navigasyonu için jiros-

185 Wade Roush, "Immobots Take Control: From Photocopiers to Space Probes, Machines Injected with Robotic Self-Awareness Are Reliable Problem Solvers," *Technology Review* (Aralık 2002–Ocak 2003), http://www.occm.de/roush 1202.pdf.

koplar dahil çok küçük mikroskobik makinelerin tasarımını yapabiliyoruz. Yazılım, hiçbir insan tasarımcının aklına gelmeyecek tasarımları da icat edebilir."[186]

NASA'nın bir diğer yapay zekâ sistemi, çok silik görüntülerdeki yıldızları ve gökadaları, insan gökbilimcilerin çok ilerisine geçen bir düzeyde, ayırt edebilmeyi kendi kendine öğrenmiştir.

Yeni robotik yer teleskopları, nereye bakacakları ve aranan unsurun bulunması olasılığının nasıl optimize edileceği konusunda kendi kararlarını verebiliyorlar. "Özerk, yarı akıllı gözlemevleri" olarak adlandırılan bu sistemler hava koşullarına uyum sağlayabiliyor, ilginç unsurları fark edip bunları izleyeceklerine kendi başlarına karar verebiliyorlar. Bu teleskoplar bir yıldızın bir nanosaniye süreyle ışıldaması gibi çok hassas olguları saptayabiliyorlar, böyle bir olgu da güneş sistemimizin dış bölgelerindeki bir asteroitin o yıldızdan gelen ışığın önünden geçtiğinin işareti olabilir.[187] Hareketli Nesne ve Geçici Olay Arama Sistemi (MOTESS) adı verilen böylesi sistemlerden biri, göreve başlamasından sonra iki yıl içinde, kendi başına 180 yeni asteroit ve birkaç kuyrukluyıldızı saptadı. Exeter Üniversitesi gökbilimcilerinden Alasdair Allan, "Zeki bir gözlem sistemine sahibiz," demekte. "Kendi başına düşünüp, bulduğu bir şeyin gözlemin sürdürüleceği kadar ilginç olup olmadığına karar verebiliyor. Eğer daha fazla gözlemin sürdürülmesi gerekiyorsa, çalışmaya devam ederek verileri topluyor."

Benzer sistemler ordu tarafından, casus uydulardan alınan verilerin otomatik olarak çözümlenmesinde kullanılıyor. Mevcut uydu teknolojisi yer yüzeyindeki yaklaşık 2,5 santimlik unsurları gözlemleme yeteneğine sahip; kötü hava koşullarından, bulutlardan ya da karanlıktan etkilenmiyor.[188] İlgili gelişmeleri aramak üzere programlanmış otomatik görüntü tanıma sistemi olmadan, sürekli üretilen büyük çapta bilginin yönetimi de olanaksız olurdu.

---

186 NASA haber bülteninde alıntılanan Jason Lohn, "NASA 'Evolutionary' Software Automatically Designs Antenna," http://www.nasa.gov/lb/centers/ames/news/releases/2004/04_55AR.html.

187 Robert Roy Britt, "Automatic Astronomy: New Robotic Telescopes See and Think," 4 Haziran 2003, http://www.space.com/businesstechnology/technology/automated_astronomy_030604.html.

188 H. Keith Melton, "Spies in the Digital Age," http://www.cnn.com/SPECIALS/cold.war/experience/spies/melton.essay.

Tıp. Elektrokardiyogram (EKG) çektirdiğiniz zaman, doktorunuza büyük olasılıkla, kaydedilen EKG'ye uygulanan örüntü tanımayla elde edilen, otomatik bir tanı gelecektir. Şirketim (Kurzweil Technologies) ile United Therapeutics birlikte kalp hastalığının erken uyarı işaretlerini uzun dönemli ve örtülü olarak (giysiye yerleştirilmiş algılayıcılar ve cep telefonunu kullanarak kablosuz iletişimle) izleyen yeni kuşak otomatik EKG analizi geliştirmek için çalışıyorlar.[189] Çeşitli görüntüleme verilerine tanı koymaya yönelik başka örüntü tanıma sistemleri de kullanılmaktadır.

Bütün büyük ilaç şirketleri yeni ilaç uygulamalarının geliştirilmesinde örüntü tanıma ve zeki veri madenciliği için yapay zekâ programları kullanır. Örneğin, SRI International, tüberküloz ve *H. Pylori* (ülsere neden olan bakteri) gibi birçok hastalığın etkeni hakkında bildiğimiz her şeyi kodlayan esnek bir bilgi tabanı oluşturuyor.[190] Amaç, zeki veri madenciliği araçlarının (veride yeni ilişkileri araştırabilen yazılım) uygulanarak, bu patojenlerin metabolizmalarını öldürecek ya da bozacak yeni yolların bulunmasıdır.

Başka hastalıklarda yeni sağaltım yöntemlerinin otomatik olarak bulunması, ayrıca hastalıktaki genlerin işlev ve rollerinin anlaşılması amacıyla benzer sistemler uygulanmaktadır.[191] Örneğin Abbott, yeni laboratuvarlarından birinde yapay zekâ tabanlı robotik ve veri analiz sistemleriyle çalışan altı insan araştırmacının, eski ilaç geliştirme laboratuvarlarındaki iki yüz araştırmacının elde ettikleri sonuçları eşleştirebildiğini ileri sürmektedir.[192]

Prostata özgü antijen (PSA) düzeyi yüksek çıkan erkeklerde çoğunlukla cerrahi biyopsi yapılmakta, fakat bunların yüzde 75'inde prostat kanseri bulunmamaktadır. Kandaki protein örüntüsünün

---

189 "United Therapeutics (UT), üç sağaltım alanında –kalp ve damar, onkoloji ve bulaşıcı hastalıklar– yaşamsal tehdit oluşturan hastalıklara karşı süreğen tedaviler geliştirmeye odaklanmış bir biyoteknoloji şirketidir" (http://www.unither.com). Kurzweil Technologies, "Holter" tetkiki (yirmi dört saat boyunca kayıt) ya da "Olay" tetkikinden (otuz gün ya da fazla) örüntü tanıma tabanlı çözümleme geliştirmek amacıyla UT ile birlikte çalışmaktadır.

190 Kristen Philipkoski, "A Map That Maps Gene Functions," *Wired News*, 28 Mayıs 2002, http://www.wired.com/news/medtech/0,1286,52723,00.html.

191 Jennifer Ouellette, "Bioinformatics Moves into the Mainstream," *The Industrial Physicist* (Ekim–Kasım 2003), http://www.sciencemasters.com/bioinformatics.pdf.

192 Port, Arndt ve Carey, "Smart Tools."

tanınmasına dayanan yeni bir test, bu sahte pozitif oranı yaklaşık yüzde 29'lara indirecektir.[193] Bethesda, Maryland'daki Correlogic Systems tarafından geliştirilen bir yapay zekâ programına dayanan bu testin doğruluk derecesinin daha da iyileşmesi bekleniyor.

Protein örüntülerine uygulanan örüntü tanıma, yumurtalık kanserinin saptanmasında da kullanılmıştır. Bugün yumurtalık kanserinde uygulanan en iyi test olan CA–125, ultrasonla birlikte uygulanır ama erken evredeki hemen hemen tüm tümörleri gözden kaçırmaktadır. Amerikan Gıda ve İlaç Kurumu ile Ulusal Kanser Enstitüsünün ortak yürüttüğü Klinik Proteomik Programının eşdirektörü Emanuel Petricoin III, "Bugün, yumurtalık kanseri tanılandığında, çoğu zaman ölümcül aşamaya gelmiş oluyor," demektedir. Petricoin, yalnızca kanser varsa görülen değişik bir protein örüntüsünü araştıran, yeni bir yapay zekâ tabanlı testin baş araştırmacılarındandır. Petricoin'e göre, yüzlerce kan örneğinin söz konusu olduğu bir değerlendirmede bu test, "şaşırtıcı biçimde %100 doğrulukla, en erken evredeki kanseri bile saptamıştır."[194]

Amerika Birleşik Devletleri'nde, pap smear alınan tüm plakaların yaklaşık yüzde 10'u, TriPath Imaging tarafından geliştirilen kendiliğinden öğrenen yapay zekâ programı FocalPoint tarafından analiz edilmektedir. Araştırmacılar işe patologlarla görüşüp, kullandıkları ölçütleri sorarak başladılar. Yapay zekâ sistemi uzman patologları izleyerek öğrenimini sürdürdü. Programın, yalnızca en iyi tanı uzmanı olan insanları izlemesine izin verildi. TriPath'in teknik ürün müdürü Bob Schmidt, "Uzman bir sistemin avantajı budur. En iyi adamlarınızı çoğaltmanızı sağlar," demektedir.

Ohio Eyalet Üniversitesi Sağlık Sistemi, birçok uzmanlık alanından kapsamlı bilgiler içeren uzman bir sisteme dayalı, bilgisayarlı doktor istek giriş sistemini geliştirdi.[195] Sistem, verilen her

193 "Protein Patterns in Blood May Predict Prostate Cancer Diagnosis," Ulusal Kanser Enstitüsü, 15 Ekim 2002, http://www.nci.nih.gov/newscenter/ProstateProteomics, Emanuel F. Petricoin vd, "Serum Proteomic Patterns for Detection of Prostate Cancer" hakkında bildiri, *Journal of the National Cancer Institute* 94 (2002): 1576–1578.

194 Charlene Laino, "New Blood Test Spots Cancer," 13 Aralık 2002, http://my.webmd.com/content/Article/56/65831.htm; Emanuel F. Petricoin III vd, "Use of Proteomic Patterns in Serum to Identify Ovarian Cancer," *Lancet* 359.9306 (16 Şubat 2002): 572–577.

195 TriPath FocalPoint'i hakkında daha fazla bilgi için *bkz.* "Make a Diagnosis," *Wired,* Ekim 2003, http://www.wired.com/wired/archive/10.03/everywhere.

sipariş için otomatik olarak, hastada olası alerjileri, ilaçlar arası etkileşimi, tekrarları, ilaç kısıtlamalarını, önerilen dozu, hastane laboratuvarından ve radyoloji bölümünden o hasta için verilen bilgilere göre ilacın uygunluğunu kontrol ediyor.

Fen, Matematik. Galler Üniversitesinde, orijinal kuramlar oluşturma yeteneğine sahip yapay zekâ tabanlı bir sistem, otomatik olarak deney yürütebilen robotik bir sistem ve elde edilen sonuçları değerlendirmek için akıl yürütme yeteneğine sahip bir makinenin birleşmesinden oluşan "bilim robotu" geliştirildi. Araştırmacılar bu çalışmalarını mayada bir gen ekspresyonu modeliyle sundular. Sistem, "gözlemlerini açıklamak için otomatik olarak varsayımlar üretir, bu varsayımları sınamak için deneyler oluşturur, bir laboratuvar robotu kullanarak deneyleri yürütür, veriyle tutarsız varsayımları yanlışlamak için sonuçları yorumlar, sonra da bu döngüyü yineler."[196] Sistem, kendi deneyimlerinden öğrenip, kendi performansını geliştirme yeteneğine sahiptir. Bilim robotlarının tasarımını yaptığı deneyler, bilim insanlarının tasarladıkları deneylerden üç kez daha ucuzdu. Bu makinenin bir grup bilim insanıyla kıyaslanmasıyla uygulanan testin sonucunda, makinenin yaptığı buluşların insanlarınkine benzer olduğu görüldü.

Makineye yenik düşen bilim insanlarından biri de Galler Üniversitesi Biyoloji Bölümünden Mike Young'dı. Young bunu, "Robot beni yendi, ama yalnız bir noktada yanlış tuşa bastığım için yenebildi," diye açıklıyor.

Cebirde uzun zamandır süregelen bir tahmin, en sonunda, Argonne Ulusal Laboratuvarının bir yapay zekâ sistemi tarafından kanıtlandı. İnsan matematikçiler ortaya konan kanıtı "yaratıcı" olarak nitelediler.

İş, Finans, Üretim. Her sektörden şirketler, lojistiğin denetimi ve optimizasyonu, sahteciliğin ve para aklama eylemlerinin belirlenmesi, her gün toplanan tonlarca bilgi üzerinde zeki veri madenciliği yapmak için yapay zekâ sistemlerini kullanırlar. Örne-

---

html?pg=5. Mark Hagland, "Doctors' Orders," Ocak 2003, http://www.healthcare-informatics.com/issues/2003/01_03/cpoe.htm.

196 Ross D. King vd, "Functional Genomic Hypothesis Generation and Experimentation by a Robot Scientist," *Nature* 427 (15 Ocak 2004): 247–252.

ğin WalMart, alışveriş yapan müşterilerle işlemlerini yürütürken çok sayıda bilgi toplar. Nöron ağları ve uzman sistemler kullanan yapay zekâ tabanlı araçlar bu bilgileri değerlendirip, şirket yöneticilerine pazar araştırma raporları hazırlarlar. Yapılan bu zeki veri madenciliği şirket yöneticilerine her gün, her mağazada bulunması gereken ürün stoku öngörülerini olağanüstü doğrulukla yapabilme olanağını sağlar.[197]

Finans işlemlerinde sahteciliği belirlemek için yapay zekâ tabanlı programlar düzenli olarak kullanılmaktadır. Örneğin, İngiliz Future Route şirketi, Oxford Üniversitesinde geliştirilen yapay zekâ yordamlarına dayanan, kredi kartı işlem ve uygulamalarında sahteciliği saptayan iHex programını sunmaktadır.[198] Sistem, yaşadığı deneyimlere dayanarak, sürekli olarak kendi kurallarını üretip, güncellemekte. Kuzey Carolina'nın Charlotte kentinde bulunan First Union Home Equity Bankası, ipotekli kredi başvurularına onay kararını verirken benzer bir yapay zekâ sistemi olan Loan Arranger'ı kullanır.[199]

Benzer biçimde NASDAQ da tüm işlemlerde hem sahteciliği hem de bilgi sızdırmayı izlemek için SONAR (menkul değerler izleme, haber analizi ve düzenlemesi) adlı bir öğrenme programını kullanır.[200] 2003 yılının sonuna kadar, 180'in üzerinde olay SONAR tarafından belirlenerek, ABD sermaye piyasası kuruluna ve Adalet Bakanlığına bildirilmiştir. Bunlar arasında sonradan gazete manşetlerine geçenleri de olmuştur.

1972'den 1997'ye kadar MIT'nin Yapay Zekâ Laboratuvarını yöneten Patrick Winston tarafından kurulan Ascent Technology, Akıllı Havaalanı Operasyonları Merkezi (SAOC) adlı genetik algoritme tabanlı bir sistem geliştirdi. Sistem, örneğin, yüzlerce çalışana dengeli iş ataması, kapı ve ekipman ataması gibi çok

197 Port, Arndt ve Carey, "Smart Tools."

198 "Future Route Releases AI-Based Fraud Detection Product," 18 Ağustos 2004, http://www.finextra.com/fullstory.asp?id=12365.

199 John Hackett, "Computers Are Learning the Business," *Collections World*, 24 Nisan 2001, http://www.creditcollectionsworld.com/news/042401_2.htm.

200 "Innovative Use of Artificial Intelligence, Monitoring NASDAQ for Potential Insider Trading and Fraud," Amerika Havacılık Geliştirme Girişimi basın bülteni, 30 Temmuz 2003, http://www.aaai.org/Pressroom/Releases/release-03-0730.html.

sayıda ayrıntıyı işleyerek, havaalanının karmaşık lojistiğini optimize edebilmektedir.[201] Winston, "Genetik algoritmaların yaptığı, karmaşık durumları optimize etmenin yollarını bulmaktır," diyor. SAOC, uygulandığı havaalanlarında, verimliliği yaklaşık yüzde 30 oranında artırmıştır.

Ascent Technology, ilk sözleşmesini yapay zekâ tekniklerinin 1991 yılında Irak'a yönelik Çöl Fırtınası harekâtının lojistik yönetimine uygulanması işi için yaptı. ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı DARPA, Ascent sistemi de dahil, yapay zekâ tabanlı lojistik planlama sistemlerinin hükümetin son birkaç on yılda yapay zekâ araştırmalarına yaptığı yatırımlardan daha fazla tasarruf sağladığını belirtmekte.

Yapay zekâ sistemleri yazılımlarında son zamanlardaki eğilim, karmaşık bir yazılım sisteminin performansını izleyerek, arızaları belirleyip, sorunu insan kullanıcıya haber vermeğe gerek kalmadan otomatik olarak çözecek en iyi yolun belirlenmesi yönündedir.[202] Buradaki düşünce, giderek karmaşıklaşan yazılım sistemlerinin de insanlar gibi hiçbir zaman mükemmel olamayacakları, tüm hataları ayıklamanın olanaksız olduğudur. Biz insanlar da aynı stratejiyi kullanırız: Mükemmel olmayı beklemeyiz ama genellikle kaçınılmaz hataları düzeltmeye çalışırız. Bugün "özerk bilgi işlem" adını verdiğimiz sistem üzerinde çalışan Stanford Üniversitesinin Yazılım Altyapıları Grubu Başkanı Armando Fox, "Bu sistem yönetimi düşüncesini tersine çevirmek istiyoruz," demekte ve "Sistemin kendini kurabilmesi, kendini optimize edebilmesi gerekir. Kendini onarabilmeli, aksilik olduğunda da dış tehditlere nasıl tepki vereceğini bilmelidir," diye eklemekte. IBM, Microsoft ve diğer yazılım satıcıları özerk yeteneklere sahip sistemler geliştirmekteler.

Üretim ve Robotbilim. Bilgisayarla tümleşik üretim (CIM), kaynak kullanımının optimizasyonu, lojistik etkinliğin artırılması, parça

---

201 "Adaptive Learning, Fly the Brainy Skies," Wired News, Mart 2002, http:// www. wired.com/wired/archive/10.03/everywhere.html?pg=2.

202 "Introduction to Artificial Intelligence," EL 629, Maxwell Hava Üssü, Havacılık Üniversitesi Kütüphanecilik dersi, http://www.au.af.mil/au/aul/school/acsc/ai02.htm. Sam Williams, "Computer, Heal Thyself," *Salon.com,* 12 Temmuz 2004, http://www.salon.com/tech/feature/2004/07/12/self_healing_computing/index_np.html.

ve malzemenin tam zamanında satın alınarak stok miktarının düşürülmesi amacıyla yapay zekâ tekniklerini giderek daha fazla kullanmaktadır. CIM sistemlerinde yeni bir eğilim, sabit kodlu, kural tabanlı uzman sistemler yerine, "durum tabanlı çıkarsama" kullanımıdır. Bu tür çıkarsama, bilgiyi çözümleriyle birlikte verilen problem örnekleri olan "durumlar" olarak kodlar. İlk durumlar çoğunlukla mühendisler tarafından geliştirilir, ancak başarılı bir durum tabanlı çıkarsama sisteminin anahtarı, sistemin gerçek deneyimlerinden yeni durum bilgilerini toplayabilme yeteneğidir. Sistem, sonra belleğindeki durumlardan elde ettiği birikimini yeni durumlara uygulayabilir durma gelmektedir.

Robotlar üretimde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeni kuşak –Natick, Massachusetts'de bulunan Cognex Corporation gibi şirketlerin ürettikleri– robotlar değişen koşullara esnek biçimde tepki verebilen, esnek yapay zekâ tabanlı bilgisayarlı görme sistemlerini kullanır. Bu, robotun doğru çalışması için tam kurulumun yapılması gereğini azaltmaktadır. Livermore, California'daki fabrika otomasyon şirketi Adept Technologies'in Yürütme Kurulu Başkanı Brian Carlisle, "İşçilik maliyetlerini [bir düşünce olarak] hesaplamasak bile, robotlarla otomasyon ve diğer esnek otomasyonun kullanılması için yine de sağlam nedenler vardır. Kalite ve üretilen iş miktarının yanı sıra, kullanıcılar, üründe el işçiliğiyle yapılamayacak kadar hızlı değişme ve gelişmenin yararını görmektedirler," demekte.

Önde gelen yapay zekâ robotbilimcilerinden biri olan Hans Moravec, bilgisayarlı görme teknolojilerini üretim, malzeme yönetimi ve askeri kullanımlara uygulayan Seegrid adında bir şirket kurdu.[203] Moravec'in yazılımı, bir aygıtın (bir robot ya da yalnızca bir malzeme taşıma arabası), düzenli yapısı olmayan bir ortamda yürümesini ya da yuvarlanmasını, bu ortamdan bir kez geçtikten sonra o ortamın güvenilir bir "voksel" (üç boyutlu piksel) haritasını çıkarmasını sağlamaktadır. Robot daha sonra, çıkardığı bu haritayla kendi akıl yürütme yeteneğini kullanarak, kendisine verilen görevi yerine getirmek için gitmesi gereken optimal ve engelsiz yolu belirleyebilmektedir.

---

203 *Bkz.* http://www.Seegrid.com. Açıklama: Yazar, Seegrid şirketinin yatırımcısı ve yönetim kurulu üyesidir.

Bu teknoloji, malzemenin, önprogramlama yapılan geleneksel robotik sistemlerin gerektirdiği yoğun hazırlıklara gerek kalmadan, bütün bir üretim sürecinin başından sonuna kadar kendi kendini yöneten arabalarla taşınmasını sağlar. Askeri kullanımlarda kendi kendini yöneten araçlar, hem hızla değişen ortamlara ve savaş koşullarına uyum sağlayabilir hem de görevlerini tam olarak yerine getirebilirler.

Bilgisayarlı görme, ayrıca robotların insanlarla etkileşim yeteneklerini de geliştirmektedir. Küçük, pahalı olmayan fotoğraf makineleri kullanan baş ve göz takip yazılımı, insan kullanıcının yerini algılayabilmekte, böylece robotların ve ayrıca bir ekrandaki sanal kişiliklerin, doğal etkileşimin temel unsuru olan göz temasını kurmalarını sağlamaktadır. Baş ve göz takip sistemleri Carnegie Mellon Üniversitesi ve MIT tarafından geliştirilerek, Avustralyalı Seeing Machines gibi küçük şirketler tarafından piyasaya sunuldu.

Bilgisayarlı görme sisteminin etkileyici bir örneği, Washington D.C. ile San Diego arasındaki yolun hemen hemen tamamını, herhangi bir insan müdahalesi olmadan geçen bir yapay zekâ sisteminin kullandığı araçtır.[204] Pittsburgh Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden Amerikan Yapay Zekâ Derneği Başkanı Bruce Buchanan, bu özelliğin, "10 yıl öncesinde duyulmamış" bir şey olarak niteleneceğine işaret etmektedir.

Palo Alto Araştırma Merkezi (PARC), afet bölgeleri gibi karmaşık ortamlarda dolaşarak, yaralı insanlar gibi dikkat çeken unsurları ortaya çıkarabilen bir robot sürüsü geliştirmektedir. 2004 Eylül'ünde San Jose'deki bir yapay zekâ konferansında yapılan bir gösterimde, kendiliğinden birleşen bir grup robotun yapay ama gerçekçi biçimde oluşturulmuş bir afet bölgesindeki çalışması sunulmuştur.[205] Robotlar, engebeli arazide ilerlemiş, birbirleriyle

---

204 No Hands Across America web sitesi, http://cart.frc.ri.cmu.edu/users/hpm/project.archive/reference.file/nhaa.html ve "Carnegie Mellon Researchers Will Prove Autonomous Driving Technologies During a 3,000 Mile, Hands-off-the-Wheel Trip from Pittsburgh to San Diego," Carnegie Mellon basın bülteni, http://www-2.cs.cmu.edu/afs/cs/user/ tjochem/www/nhaa/official_press_release.html; Robert J. Derocher, "Almost Human," Eylül 2001, http://www.insight-mag. com/insight/01/09/col-2-pt-1-ClickCulture.htm.

205 "Search and Rescue Robots," *Associated Press*, 3 Eylül 2004, http://www.smh.com.au/articles/2004/09/02/1093939058792.html?oneclick=true.

iletişim kurmuş, imgelerde örüntü tanıma yeteneklerini kullanmış ve insanların yerlerini belirlemek için beden ısısını saptamışlardır.

Konuşma ve Dil. Dili doğal biçiminde kullanmak, yapay zekâ için en zorlu iştir. İnsan zekâsının ilkelerine tam hâkim olmadıkça, bilgisayarlı bir sistemin, insan konuşmasını yalnızca mesajlarla sınırlı bile olsa, inandırıcı biçimde taklit edebilmesini sağlayabilecek küçük numaralar yoktur. Turing'in tamamen yazılı dile dayanan ve kendi adıyla anılan testini geliştirirken kullandığı güçlü içgörüsü budur.

Henüz insan düzeyine gelememiş olsa da doğal dili işleyen sistemler sağlam adımlarla ilerlemektedir. Arama motorları o kadar yaygınlaşmıştır ki "Google" özel isim olmaktan çıkıp sıradan bir fiile dönüşmüş, kullandığı teknolojiyse araştırma ve bilgiye erişimde devrim yaratmıştır. Google ve diğer arama motorları yapay zekâ tabanlı istatistiksel öğrenme yöntemleri ile mantıksal girişim kullanarak, bağlantıların sıralamasını belirlemekteler. Bu arama motorlarının en belirgin eksikliği, sözcüklerin kullanıldıkları bağlamları anlayamamalarıdır. Deneyimli bir kullanıcı, konuyla en ilgili siteleri bulabilmek için anahtar sözcüklerin diziliminin nasıl kurulacağını öğrense de (örneğin, "bilgisayar çipi" aratıldığında, yalnızca "çip" sözcüğü aratıldığında gösterilecek olan patates çipleri bağlantıları büyük olasılıkla dikkate alınmayacaktır), aslında yapmak istediğimiz şey, arama motorumuzla doğal dilimizde konuşabilmektir. Microsoft, Ask MSR (Ask Microsoft Research) adında, doğal dili kullanan bir arama motoru geliştirdi. Bu motor, "Mickey Mantle ne zaman doğdu?" gibi, konuşma dilinde sorulan soruları gerçekten de yanıtlayabiliyor.[206] Sistem cümleyi sözcük türlerine (özne, fiil, nesne, sıfat, zarf gibi) ayırarak dilbilgisi bakımından çözümledikten sonra, özel bir arama motoru bu cümlenin ögelerine dayanarak karşılık aramaktadır. Bulunan belgelerde sorunun yanıtı olabilecek cümleler aranmakta, olası yanıtlar uygunluk sırasıyla gösterilmektedir. En üst üç sırada, doğru yanıtın bulunması olasılığı en az yüzde 75'tir; doğru ol-

206 "From Factoids to Facts," *Economist*, 26 Ağustos 2004, http://www.economist. com/science/displayStory.cfm?story_id=3127462.

mayan yanıtlar genellikle kendini belli eder ("Mickey Mantle 3'te doğmuştur" gibi). Araştırmacılar, anlamsız yanıtların birçoğunun sırasını düşürecek bilgi tabanlarını sisteme ekleyebileceklerini umuyorlar.

Microsoft'un Ask MRS araştırmalarını yöneten araştırmacısı Eric Brill, "Nobel Ödülünün kimlere verileceği nasıl seçiliyor?" gibi daha karmaşık sorulara, yaklaşık elli sözcükten oluşan yanıtlar veren bir sistemin kurulması gibi daha da zor bir işe girişti. Bu sistemin kullandığı stratejilerden biri, ağ üzerinde bu sorunun yanıtını veren uygun bir SSS bölümü bulmaktır.

Geniş bir sözcük dağarcığı, konuşandan bağımsız (yani, konuşan kim olursa olsun yanıt veren) konuşma tanıma özellikli, telefon temelli doğal dil uygulamaları, gündelik işlemlerin yürütülmesi için piyasaya sunuluyor. İngiliz Havayollarının sanal satış temsilcisiyle, bu havayollarında uçuş rezervasyonuyla ilgili dilediğiniz her şeyi konuşabilirsiniz.[207] Müşteri hizmetleri için Verizon'u ya da finans işlemleriniz için Charles Schwab'ı, Merrill Lynch'i aradığınızda, büyük olasılıkla sanal bir kişiyle konuşacaksınız. Bu sistemler kimileri için sinir bozucu olabilse de, insanların sıklıkla yaptığı gibi, belirsiz ve bölük pörçük konuşmalara doğru biçimde yanıt vermede ustadırlar. Microsoft ve diğer şirketler, bir iş alanında iki yönlü, oldukça doğal seslerle yürütülen konuşmalarla yol ve konaklama rezervasyonları ve her türlü olağan işlemi yürütebilen sanal satış temsilcileri yaratabilen sistemleri piyasaya çıkarıyorlar.

Bu sanal temsilcilerin işi bitirme yetenekleri arayan herkesi memnun etmez, ama çoğu sistem canlı bir insana ulaşmanın yolunu da sunar. Bu sistemleri kullanan şirketler, insan satış temsilcileri kullanma gereğinin yüzde 80 oranında azaldığını bildirmekte. Çağrı merkezlerinin küçülmesi, para tasarrufunun yanı sıra yönetimde de avantaj sağlamaktadır. Düşük iş memnuniyeti nedeniyle çağrı merkezlerindeki işlerde işten ayrılma oranı yüksektir.

Erkeklerin adres sormayı sevmedikleri söylenir, ama araba satıcıları kadınların da erkeklerin de nereye nasıl gidebileceklerini

207 Joe McCool, "Voice Recognition, It Pays to Talk," Mayıs 2003, http://www.bcs.org/BCS/Products/Publications/JournalsAndMagazines/ComputerBulletin/Online Archive/may03/voicerecognition.htm.

arabalarına seve seve soracaklarına iddiaya girerler. Acura RL ile Honda Odyssey, 2005 yılında, IBM'in hazırladığı, kullanıcılarının arabalarıyla konuşmalarını sağlayan bir sistemi sunacaklar.[208] Adres tarifleri cadde isimlerini de verecek (örneğin, Main Caddesinden sola, sonra İkinci Caddeden sağa). Kullanıcılar, "En yakın İtalyan lokantası nerede?" gibi sorular sorabilecekler ya da belirli yerleri sesle girebilip, adres tarifi hakkında açıklama isteyebilecekler, arabaya komut ("klimayı aç" gibi) verebileceklerdir. Acura RL ayrıca yol durumunu da takip edecek, trafik sıkışıklıklarını ekranda gerçek zamanlı olarak gösterecek. Konuşma tanımanın, konuşmacıdan bağımsız olduğu ve motor sesi, rüzgâr ve diğer seslerden etkilenmeyeceği söyleniyor. Anlatılanlara göre sistem, 1,7 milyon cadde ve kentin adını, ayrıca yaklaşık bin komutu tanıyacak.

Bilgisayarlı dil çevirisi yavaş yavaş gelişiyor. Bu, bir Turing testi görevi olduğundan –yani, insan düzeyinde performans için tam insan düzeyinde anlama gerektirdiğinden– insanın performansıyla yarışabilecek en son uygulama alanlarından olacaktır. Güney California Üniversitesinden Franz Joseph Och, birkaç saat ya da gün içinde herhangi iki dil arasında yeni bir dil çeviri sistemi oluşturabilen bir yöntem geliştirdi.[209] Och'un tek gereksinimi bir "Rosetta Taşı," yani, bir dildeki bir metin ile o metnin bir başka dildeki çevirisi; ama çevirisi yapılan bu metinde milyonlarca sözcüğe gereksinim var. Sistem, bir kendiliğinden düzenlenme yöntemi kullanarak, metnin bir dilden diğerine nasıl çevrilmiş olduğunun kendine göre istatistik modellerini çıkarıp, bu modelleri her iki yöne doğru geliştiriyor.

Bu, dilbilimcilerin dilbilim kurallarını, ekinde bu kuralların her birinin istisnalarından oluşan listelerle birlikte titizlikle kodladıkları diğer çeviri sistemleriyle ters düşmektedir. Och'un sistemi kısa süre önce ABD Ticaret Bakanlığı, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsünün düzenlediği bir çeviri sistemleri yarışmasında en yüksek dereceyi aldı.

---

208 John Gartner, "Finally a Car That Talks Back," *Wired News*, 2 Eylül 2004, http://www.wired.com/news/autotech/0,2554,64809,00.html?tw=wn_14techhead.

209 "Computer Language Translation System Romances the Rosetta Stone," Bilgi Bilimleri Enstitüsü, USC Mühendislik Fakültesi (24 Temmuz 2003), http://www. usc.edu/isinews/stories/102.html.

Eğlence, Spor. Genetik algoritmaların eğlenceli, ilginç bir uygulamasını yapan Oxford araştırmacılarından Torsten Reil, simüle edilmiş eklemleri, kasları, beyin yerine de bir nöron ağı olan animasyon (canlandırma) karakterler yarattı. Sonra, onlara birer görev tanımladı: Yürüme görevi. Bu yeteneği geliştirmek için yedi yüz parametreli bir genetik algoritma kullanan Reil'e göre, "Sisteme kendi insan gözlerinizle bakarsanız, bunu kendi başınıza yapabilmenizin yolu yoktur; çünkü sistem fazlasıyla karmaşık. Bu noktada devreye evrim giriyor."[210]

Evrim geçiren yaratıkların kimisi düzgün ve inandırıcı biçimde yürümekle birlikte, araştırma, genetik algoritmaların iyi bilinen bir özelliğini ortaya koymuştur: Neyi talep edersen onu elde edersin. Yaratıklardan bazıları yürür gibi yapmanın değişik yollarını buldular. Reil, "Yaratıklardan bazıları hiç yürümedi ama bunlar tuhaf yöntemlerle yol kat ediyorlardı: Emekleyerek ya da perende atarak," demektedir.

Bir spor karşılaşmasının videosundan önemli anları gösteren bölümleri otomatik olarak alan bir yazılım geliştiriliyor.[211] Dublin'deki Trinity College'dan bir ekip, bilardo gibi masa sporlarında her topun yerini izleyebilen, önemli bir atış yapıldığında da bunu belirleyebilen bir yazılım üzerinde çalışıyor. Floransa Üniversitesinden bir ekip ise futbol üzerinde çalışıyor. Bu yazılım, her oyuncunun konumunu izleyerek, kurulan oyunun tipini (frikik ya da gol pozisyonu gibi), ne zaman gol ne zaman penaltı olduğu gibi önemli olayları belirleyebiliyor. Londra'daki University College'dan Sayısal Biyoloji Grubu, genetik algoritmalar kullanarak Formula 1 yarış arabaları tasarlamakta.[212]

Yapay zekâ kışı biteli çok oldu. Dar yapay zekânın ilkbaharında epeyce yol aldık. Yukarıda verilen örneklerin çoğu bundan daha on, on beş yıl önce birer araştırma projesiydi. Dünyadaki bütün yapay zekâ sistemleri bir anda çalışmayı bıraksalar, ekono-

210 Torsten Reil'den alıntı: Steven Johnson, "Darwin in a Box," *Discover* 24.8 (Ağustos 2003), http://www.discover.com/issues/aug-03/departments/feattech/.

211 "Let Software Catch the Game for You," 3 Temmuz 2004, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99996097.

212 Michelle Delio, "Breeding Race Cars to Win," *Wired News*, 18 Haziran 2004, http://www.wired.com/news/autotech/0,2554,63900,00.html.

mik altyapımız durur. Bankanız çalışmaz. Ulaşımın büyük kısmı ağır aksak gider. İletişimin büyük bölümü çöker. On yıl önce durum böyle değildi. Ama yapay zekâ sistemlerimiz tabii ki –henüz– böyle bir komployu hazırlayabilecek kadar akıllı değiller.

Güçlü Yapay Zekâ

> Bir şeyi yalnız tek bir yönden anlarsanız onu hiç anlamamışsınız demektir. Çünkü bir şeyler yolunda gitmezse, çıkacak hiçbir yeri olmadan aklınızda sıkışıp kalan bir düşünceye saplanırsınız. Bir düşüncenin bizim için taşıdığı anlamın sırrı, o düşünceyi bildiğimiz tüm diğer şeylerle nasıl ilintilendirdiğimizdir. Birinin "yineleyip ezberleyerek" öğrendiğini söylediğinde, tam anlamadığını söylememizin nedeni budur. Ancak, farklı yaklaşım biçimleriniz varsa, bunlardan biri başarısız olduğunda diğerini deneyebilirsiniz. Aralarında pek fark olmayan çok fazla bağlantı, insanın beynini kuşkusuz pelteye çevirecektir. Ama sağlam bağlantılarla betimlenenler, sizin için en uygununu buluncaya kadar düşünceleri aklınızda evirip çevirmenize, olayları farklı açılardan canlandırmanıza olanak tanıyacaktır. Düşünmekten kastımız da budur!
>
> —Marvin Minsky[213]

Bilgisayarın yükselen performansı, yavaş yavaş taşarak bir bölgeyi basan su gibidir. Yarım yüzyıl önce düzlükleri basmaya başladı, insan hesap makinelerini ve kayıt elemanlarını dışarı itti; ama çoğumuz kuru kaldık. Su taşkını şimdi dağ eteklerine ulaştı, ileri karakol kuvvetlerimiz de geri çekilmeği düşünüyorlar. Oturduğumuz doruklarda kendimizi güvende hissediyoruz, ama şu andaki hıza bakılırsa bir yarım yüzyıl içinde buralar da sular altında kalacak. O gün yaklaşırken, Nuh'un Gemisi gibi birkaç gemi yapıp denizci bir yaşama başlamamızı öneriyorum! Şimdilik düzlüklerdeki temsilcilerimizin bize suyun gerçekte neye benzediğini doğru olarak söyleyeceklerine güvenmemiz gerekir.

Satrancın ve teorem kanıtlamanın eteklerindeki temsilcilerimiz, zekâ belirtileri bildiriyorlar. Bundan onlarca yıl

213 Marvin Minsky, *The Society of Mind* (New York: Simon & Schuster, 1988).

önce, bilgisayarlar, aritmetik ve mekanik ezberde insanları geçtiği zaman, neden düzlüklerden benzeri bilgiler gelmedi? Aslında, zamanında bunları aldık. Binlerce matematikçi kadar hesap yapabilen bilgisayarlar "dev beyinler" olarak selamlandı, bu bilgisayarlar ilk kuşak yapay zekâ araştırmalarını esinlendirdi. Sonuçta makineler, insanın zekâsını, yoğunlaşmasını ve yıllar boyu eğitimini gerektiren bir şeyi herhangi bir canlıdan daha iyi yapıyorlardı. Ama o büyüyü yeniden yakalamak artık zor. Bunun bir nedeni, bilgisayarların diğer alanlarda gösterdiği aptallığın aklımızı önyargılı olmaya itmesidir. Diğer nedeniyse bizim kendi beceriksizliğimizle ilgilidir. Aritmetiği ya da kayıtların tutulmasını o kadar titizlikle, o kadar da yüzeysel yapıyoruz ki, uzun bir hesaplamanın küçük, mekanik adımları apaçık ortadayken, resmin tamamı gözümüzden kaçıyor. Deep Blue'yu yapanlar gibi biz de sürece, dışında olabilecek incelikleri takdir edemeyecek kadar fazlasıyla içeriden bakıyoruz. Ama hava simülasyonlarının yinelenen aritmetiğinden doğan kar fırtınaları ya da kasırganın, ya da film canlandırma hesaplamalarından gelen kabarcıklı tiranosor derisinin açıkça görünür olmayan bir boyutu vardır. Bunu ender olarak zekâ diye adlandırırız; ama "yapay gerçeklik" de yapay zekâdan çok daha derin bir kavram olabilir. İnsanların iyi satranç oynamalarını, teoremleri kanıtlamalarını sağlayan zihinsel adımları karmaşık ve saklıdır, bir mekanik yorum bunlara erişemez. Oyunu doğal biçimde izleyebilenler, bunun yerine, strateji, anlama, yaratıcılık gibi terimleri kullanarak, oyunu zihinselci bir dille betimlerler. Bir makine aynı zamanda aynı varsıllıkta hem anlamlı hem de şaşırtıcı olmayı başarırsa, o makine de zihinselci bir yorumu gerektirir. Tabii ki perdenin arkasında bir yerlerde ilke olarak mekanik yorum yapan programcılar vardır. Ama çalışan program belleğini onların anlayamayacağı kadar çok ayrıntıyla doldurunca, o yorumun ucu onlar için bile kaçar.

Yükselen su taşkını nüfusun daha kalabalık olduğu yükseklere ulaştıkça, makineler daha büyük kalabalıkların değerini anlayacağı alanlarda başarılı olmaya başlayacaktır. Makinelerde düşüncenin içgüdüsel varlığı giderek artarak yaygınlaşacaktır. Doruklar kaplandığındaysa, herhangi bir

konuda insanlar kadar zeki etkileşime girebilecek makineler olacaktır. O zaman, makinelerde aklın varlığı artık kanıt gerektirmeyecektir.

—Hans Moravec[214]

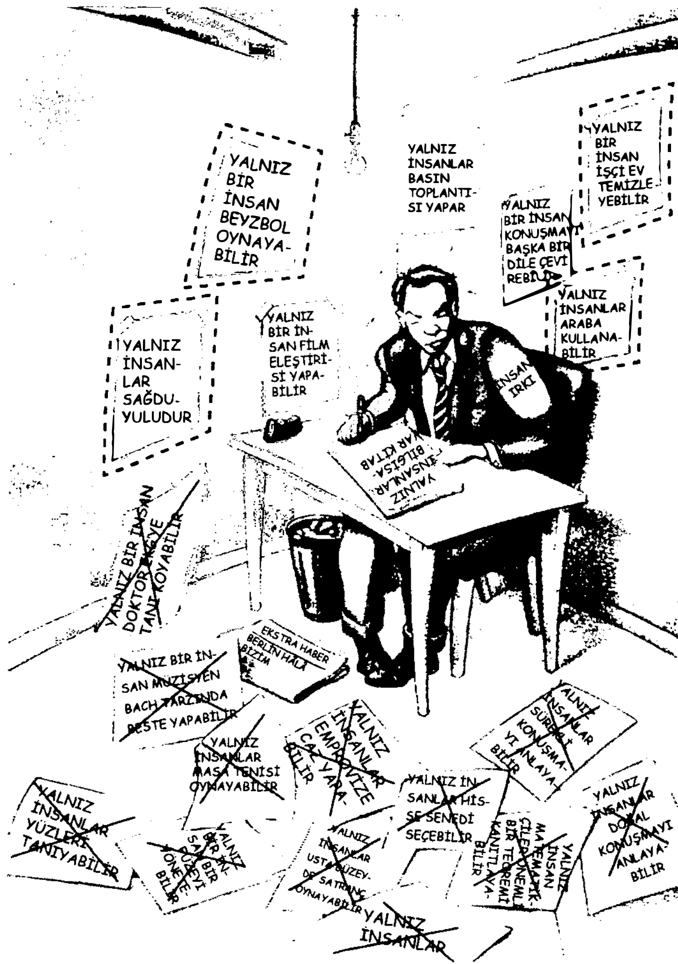
Bilgi tabanlı teknolojilerdeki ilerlemenin üstel doğası nedeniyle, performans çoğu zaman ümitsizlikten ürkütücülüğe bir anda geçiverir. Önceki bölümde verilen örneklerin açıkladığı gibi, dar yapay zekânın birçok farklı alandaki performansı şimdiden etkileyici boyuttadır. Bugün makinelerin insan zekâsıyla rekabet edebildiği zeki görevlerin çeşitliliği giderek artmaktadır. *The Age of Spiritual Machines* için tasarladığım bir karikatürde, savunmadaki "insan ırkı," yalnızca insanların yapabildiği (makinelerin yapamadığı) şeyleri gösteren tabelalar yazarken görülür.[215] Yerde, bu işleri artık makineler yaptığı için insan ırkının söküp attığı tabelalar vardır: Elektrokardiyograma tanı koymak, Bach gibi beste yapabilmek, yüzleri tanımak, bir füzeyi yönlendirmek, masa tenisi oynamak, ustalık düzeyinde satranç oynamak, hisse senedi seçmek, doğaçlama caz çalmak, önemli teoremleri kanıtlamak, kesintisiz konuşmayı anlamak. Bu işler, 1999 yılında yalnızca insan zekâsının uzmanlığında olmaktan artık çıkmıştı, tüm bu işleri makineler de yapabiliyorlardı.

İnsan ırkını simgeleyen adamın arkasındaki duvarda, hâlâ yalnız insanların uzmanlık alanında olan işleri yazdığı kâğıtlar asılıdır: Sağduyulu olmak, film eleştirisi yapmak, basın toplantısı düzenlemek, konuşmayı başka bir dile çevirmek, ev temizlemek, araba kullanmak. Bu karikatürü birkaç yıl içinde yeniden tasarlamış olsaydık bu tabelalardan bir kısmı yerde olurdu. CYC yüz milyon sağduyu bilgisi maddesine ulaştığı zaman belki de insanın sağduyu alanındaki üstünlüğü artık o kadar belirgin olmayacaktır.

---

214 Hans Moravec, "When Will Computer Hardware Match the Human Brain?" *Journal of Evolution and Technology* 1 (1998).

215 Ray Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines* (New York: Viking, 1999), s. 156.



Bugün henüz oldukça ilkel düzeyde de olsa ev robotları çağı artık başladı. Bundan on yıl sonra büyük olasılıkla "ev temizliğini" de makinelerin yetenekleri arasında sayacağız. Araba kullanmaya gelince, robotlar, insanın müdahalesi olmadan, normal yollardan, normal trafiği izleyerek Birleşik Devletler'i neredeyse boydan boya, arabayla zaten geçtiler. Henüz direksiyonlarımızı tümden makinelere teslim etmeye hazır değiliz ama arabaların

(içinde insan varken) kendi kendilerine gidebilecekleri elektronik yolların yapımı için ciddi öneriler vardır.

Doğal dili insan düzeyinde anlama yeteneği gerektiren işlerden üçü –film eleştirisi yapmak, basın toplantısı düzenlemek, konuşma çevirisi– en zor olanlarıdır. Bu tabelaları indirebildiğimiz zaman Turing düzeyinde makinelere sahip olacağız, güçlü yapay zekâ çağı da başlamış olacaktır.

Bu çağ, sessizce, biz hissetmeden gelecektir. İnsan performansı ile makine performansı arasında uyuşmazlıklar –insanların makinelerden üstün olduğu alanlar– olduğu sürece, güçlü yapay zekâ kuşkucuları bu farklılıkları değerlendireceklerdir. Ama bizim her beceri ve bilgi alanındaki deneyimimizin Kasparov'unkinin izinden gitmesi olasıdır. Her insan yeteneğinde üstel eğrinin dirseğine ulaşıldıkça, performans algılarımız hızla ümitsizden ürkütücüye kayacaktır.

Güçlü yapay zekâ nasıl başarılacak? Bu kitapta yer alan malzemenin büyük çoğunluğu, hem donanım hem de yazılımın temel gereksinimlerini ortaya çıkarıp, bu gereksinimlerin biyolojik olmayan sistemler tarafından karşılanacağına neden emin olabileceğimizi açıklamayı amaçlıyor. Bilgi işlemin fiyat performansının üstel büyümesinin, insan zekâsını taklit edecek yeteneğe sahip donanımı gerçekleştirebilecek kadar süreceği 1999 yılında hâlâ tartışmalı bir konuydu. Son beş yılda üç boyutlu bilgi işlem teknolojisinin geliştirilmesinde o kadar çok ilerleme elde edildi ki, bu konuda bilgisi olan gözlemcilerin çok azı bunun gerçekleşebileceğinden kuşku duymaktadır. Yalnızca yarı iletken endüstrisinin yayımladığı, 2018 yılına kadar Uluslararası Yarı İletken Teknolojisi Yol Haritasına baktığımızda bile insan düzeyinde donanımın o yıla kadar kabul edilir maliyetlerle gerçekleşeceğini öngörebiliriz.[216]

Dördüncü bölümde, 2020'li yılların sonuna doğru elimizde insan beyninin tüm bölgelerinin ayrıntılı modellerinin ve simülasyonlarının olacağından nasıl emin olabildiğimizi açıkladım. Yakın zamana kadar beynin içini izlemek için kullandığımız araçlar, yeterince ayrıntılı modeller yaratacak yeterlilikteki verileri ürete-

---

216 *Bkz.* ikinci bölümde, Uluslararası Yarı İletken Teknolojisi Yol Haritası hakkındaki 22. ve 23. notlar.

bilecek uzaysal ve zamansal çözünürlüğe, bant genişliğine ya da fiyat performansına sahip değildiler. Bu artık değişiyor. Tarama ve algılama araçlarının yeni gelişmekte olan kuşağı, nöronları ve hücre bileşenlerini gerçek zamanlı çalışarak mükemmel bir kesinlikle çözümleyip saptayabiliyor.

Geleceğin araçları çok daha yüksek çözünürlük ve kapasite sağlayacaktır. 2020'lere gelindiğinde, beynin kılcal damarlarına tarayıcı ve algılayıcı nanobotlar gönderip, beyni içinden tarayabileceğiz. Çeşitli beyin tarama ve algılama kaynaklarından elde ettiğimiz bilgileri, beynin bu bölgelerinin biyolojik sürümlerinin performanslarıyla deneysel olarak kıyaslanmalarında iyi sonuç veren modellere ve bilgisayarlı simülasyonlara dönüştürme yeteneğini gösterdik. Daha şimdiden birkaç önemli beyin bölgesinin oldukça ilginç modelleri ve simülasyonları bulunuyor. Dördüncü bölümde savunduğum gibi, 2020'lerin sonlarında tüm beyin bölgelerinin ayrıntılı ve gerçekçi modellerini beklemek tutucu bir öngörüdür.

Bütün beyin bölgeleri üzerinde yapılacak ters mühendislik işleminden insan zekâsının çalışma ilkelerini öğrenecek, bu ilkeleri de 2020'lerde var olacak beyin yeteneğindeki bilgi işlem platformlarına uygulayacak olmamız da güçlü yapay zekâ senaryosunun bir parçasıdır. Dar yapay zekâ için elimizde etkili bir araç kutusu zaten var. Bu yöntemlerin sürekli olarak düzeltilerek iyileştirilmesi, yeni algoritmaların geliştirilmesi, birkaç yöntemin ayrıntılı mimariler oluşturacak biçimde birleştirilmesi eğilimiyle, dar yapay zekâ giderek daha az dar olacaktır. Bunun anlamı, yapay zekâ uygulamalarının daha geniş etki alanına sahip olması ve performanslarının da daha esnekleşmesidir. Yapay zekâ sistemleri de tıpkı insanlar gibi her probleme yaklaşmanın farklı yollarını geliştireceklerdir. En önemlisi, beyinde ters mühendislik çalışmalarının ivmesinden doğan yeni kavram ve paradigmalar bu araç takımını durmaksızın büyük ölçüde zenginleştirecektir. Bu süreçte epeyce yol alınmıştır.

Beynin bir bilgisayardan farklı çalıştığı, bu nedenle beynin çalışmasıyla ilgili kavrayışlarımızı biyolojik olmayıp, sorunsuz işleyebilen sistemlere uygulayamayacağımız sıklıkla söylenir. Bu görüş, kendiliğinden düzenlenen sistemler alanını tümden göz

ardı etmektedir. Bu sistemler için giderek daha fazla gelişen matematik araçlarımız var. Önceki bölümde irdelediğim gibi, beynin, günümüzün geleneksel bilgisayarlarından birkaç önemli farkı vardır. PDA'nızın içini açıp bir telini kestiğiniz zaman makineyi bozma olasılığınız çok yüksektir. Buna karşın, düzenli olarak birçok nöronumuz ile nöron arası bağlantımızı yitiririz, ama beyin kendiliğinden düzenlenebildiği ve belirli birçok özelliğin önemli olmadığı dağıtık örüntülere dayandığı için bunun olumsuz etkisi olmaz.

2020'li yılların ortalarından sonlarına doğru elimizde beyin modellerinin son derece ayrıntılı bir kuşağı olacaktır. Sonunda, araç kutumuz bu yeni modeller ve simülasyonlarla çok zenginleşecek, beynin çalışma yöntemi hakkındaki bilginin tamamını kuşatacaktır. Araç kutusunu zeki işlere uyguladıkça, kimisi doğrudan beyinde yürütülen ters mühendislik uygulamalarından elde edilecek, kimisi beyin hakkında bildiklerimizden esinlenilecek, kimisi de beyin yerine onlarca yıllık yapay zekâ araştırmalarından gelecek bu araçların her birinden yararlanacağız.

Beynin uyguladığı stratejinin bir boyutu, bilgiyi en başından sabit kodlamaktansa, bilgiyi öğrenmektir. (Doğuştan gelen böylesi bilgiyi belirtmek için "içgüdü" sözcüğünü kullanırız.) Öğrenme, yapay zekânın da önemli bir yönü olacaktır. Karakter tanıma, konuşma tanıma ve finansal analiz alanlarındaki örüntü tanıma sistemlerini geliştirirken edindiğim deneyime göre, yapay zekânın eğitiminin sağlanması bu teknik uygulamanın en zorlu, en önemli kısmıdır. İnsan uygarlığının büyük bilgi birikimi çevrimiçi kaynaklardaki yerini aldıkça, geleceğin yapay zekâları da bu engin bilgi yığınına erişerek kendi eğitimini sürdürme olanağını elde edecektir.

Yapay zekâların eğitimi, gelişmemiş insanların eğitiminden çok daha hızlı olacaktır. Biyolojik insanlara temel eğitimin verilmesi için gereken yirmi yıllık süre yalnızca birkaç haftaya, belki de daha kısa bir süreye sıkıştırılabilecektir. Biyolojik olmayan zekâ sahip olduğu öğrenme ve bilgi örüntülerini paylaşabildiği için de belirli bir beceriyi yalnızca bir yapay zekânın iyice öğrenmesi yetecektir. Belirttiğim gibi, bir grup araştırma bilgisayarını konuşma tanıma için eğittikten sonra konuşma tanıma yazılımı-

mızı alan yüz binlerce insanın öğretilmiş bu örüntüleri yalnızca bilgisayarlarına yüklemeleri gerekti.

İnsan beyni üzerinde ters mühendislik projesi tamamlandığında, biyolojik olmayan zekânın elde edeceği birçok beceriden biri, dili ve insanlığın ortak bilgisini, Turing testini geçecek derecede iyi bilmek olacaktır. Turing testi, uygulamadaki önemi nedeniyle değil, daha çok önemli bir eşiğin sınırlarını belirleyeceği için önemlidir. Belirttiğim gibi, bir Turing testini geçmenin, insan zekâsının esnekliğini, inceliğini, uyarlanabilirliğini inandırıcı biçimde taklit etmenin dışında, basit yolları yoktur. Teknolojimizde bu kapasiteye ulaştığımızda, bunlar, mühendislik yöntemlerinin yoğunlaştırma, odaklama ve güçlendirme yeteneğinin konusu olacaktır.

Turing testinin farklı biçimleri de önerilmiştir. Her yıl verilen Loebner Ödülleri yarışmasında, insan hakemleri, kendisinin insan olduğuna en iyi inandıran konuşma robotuna bronz ödül verilmektedir.[217] Gümüş ödülü kazanmanın ölçütü, Turing'in orijinal testine dayanır, bu ödül de doğal olarak henüz verilmemiştir. Altın ödül görsel ve işitsel iletişime dayanır. Bir başka deyişle, yapay zekânın uçbirimden iletilen inandırıcı bir yüzünün ve sesinin olması, böylelikle insan hakeme görüntülü telefonda gerçek bir insanla etkileşimde olduğu izlenimini verebilmesi gerekir. Dışarıdan bakıldığında, altın ödül daha zor gibi görünür. Ben aslında daha kolay olabileceğini savunuyorum; çünkü dikkatleri gerçek gibi görünen yüz ve ses canlandırmalarına çekildiğinden, hakemler iletişimde kullanılan dilin metinsel yönüne daha az dikkat edebilirler. Aslında, gerçek zamanlı yüz canlandırmaya çoktan sahibiz; güncellenmiş Turing standartlarına henüz tam erişememiş olmakla birlikte, oldukça yaklaşmıştır. Bütünsel özellikler (tonlama) üzerinde daha çalışılması gerekse de, elimizde kulağa çok doğal gelen, çoğu kez insan konuşmasının kayıtlarıyla karıştırılabilen ses bireşimleri bulunmaktadır. Doyurucu düzeyde yüz canlandırması ile ses yapımını, Turing testi düzeyinde dil ve bilgi yeteneklerinden büyük olasılıkla daha önce başarabileceğiz.

Turing bu testin kurallarını koyarken kesin olmamaya özen göstermiştir, Turing testi geçildiği zaman bunun nasıl değerlendi-

217 "The First Turing Test," http://www.loebner.net/Prizef/loebner-prize.html.

rileceğinin tam yöntemlerinin belirlenmesinin incelikleri hakkındaysa önemli miktarda kaynak hazırlanmıştır.[218] 2002'de Long Now web sitesinde Mitch Kapor'la girdiğim bir Turing testi bahsinin kurallarını tartışmıştım.[219] Geliri, kazanan tarafın belirleyeceği bir yardım kurumuna bağışlanacak olan yirmi bin dolarlık bahsimizin sorusu, "2029 yılına kadar bir makine Turing testini geçebilecek mi?" idi. Ben geçebilecek dedim, Kapor geçemeyecek dedi. Girdiğimiz bahsin çapraşık kurallarını belirlemek aylarımızı aldı. Örneğin, "makine" ile "insana" yalın tanımlar bulmak o kadar kolay bir iş değildi. İnsan hakemin beyninde, biyolojik olmayan herhangi bir düşünme sürecinin olmasına izin verilecek miydi? Diğer taraftan makinenin herhangi bir biyolojik yönü olabilecek miydi?

Turing testinin tanımı insandan insana değişeceğinden, Turing testini geçebilecek yeterliğe sahip makineler bir gün içinde ortaya çıkıvermeyecek, makinelerin eşiği geçtiği iddialarını duyacağımız bir süreç yaşanacaktır. Aynı şekilde, ortaya çıkan bu ilk iddiaların maskesi, büyük olasılıkla aralarında benim de olacağım bilgili gözlemciler tarafından düşürülecektir. Turing testinin geçilmiş olduğu konusunda yaygın bir görüş birliğine varıldığında, gerçek eşiğin aşılmasının üzerinden uzun zaman geçmiş olacaktır.

Edward Feigenbaum, farklı bir Turing testi önermektedir. Bu test, makinenin insan gibi olma yeteneğini sıradan günlük bir konuşmayla değil, belirli bir alanın bilimsel uzmanı gibi görünme yeteneğiyle değerlendirmektedir.[220] Feigenbaum testi, Turing testinden daha önemli olabilir, çünkü bir teknik alanda ustalaşan Feigenbaum testi yeteneğindeki makineler, kendi tasarımlarını

---

218 Douglas R. Hofstadter, "A Coffeehouse Conversation on the Turing Test," Mayıs 1981, Ray Kurzweil, *The Age of Intelligent Machines* içinde verilmektedir (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1990), s. 80–102, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame. html?main=/articles/art0318. html.

219 Ray Kurzweil, "Why I Think I Will Win," ve Mitch Kapor, "Why I Think I Will Win," kurallar: http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art 0373.html; Kapor: http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0412.html; Kurzweil: http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0374.html; Kurzweil "son söz": http://www.KurzweilAI.net/meme/frame. html?main=/articles/art0413.html.

220 Edward A. Feigenbaum, "Some Challenges and Grand Challenges for Computational Intelligence," *Journal of the Association for Computing Machinery* 50 (Ocak 2003): 32–40.

geliştirme yeteneğine sahip olacaklardır. Feigenbaum, testini şöyle açıklamaktadır:

> Feigenbaum testini oynayan iki taraf vardır. Oyunculardan biri, doğal bilimler, mühendislik ya da tıbbın önceden belirlenmiş üç alanının her birinde seçkin uzmanlar arasından seçilir. (Bu sayı artırılabilir ama bu sınama için en fazla on olmalıdır.) Diyelim, bu alanları ABD Ulusal Akademisinin kapsamına giren alanlardan seçtik... Örneğin, astrofizik, bilgisayar mühendisliği, moleküler biyoloji seçebiliriz. Oyunun her turunda, iki oyuncunun (seçkin uzman ve bilgisayar) davranışları, özellikle o başlık altına giren alandaki bir başka Akademi üyesi tarafından değerlendirilir, örneğin, astrofizikçinin astrofizik davranışını değerlendirmesi gibi. Turing testi olduğu için, elbette oyuncuların kimlikleri hakemden gizlenir. Hakem problemleri tanımlar, sorular sorar, açıklamalar, kuramlar ister; tıpkı meslektaşınızla yapacağınız bir çalışma gibi. İnsan hakem, şansını kullanarak ulaşacağından daha iyi bir düzeyde, oyunculardan hangisinin Ulusal Akademideki meslektaşı, hangisinin bilgisayar olduğunu bilebilir mi?

Feigenbaum, kuşkusuz bilgisayarın da zaten Ulusal Akademinin bir uzmanı olabileceği olasılığını göz ardı etmekte, ama makinelerin, bugün yalnızca biyolojik insanlardan oluşan kurumlara henüz girmemiş olacaklarını varsaymaktadır. Feigenbaum testi, Turing testinden daha zor gibi görünse de tüm bir yapay zekâ tarihi, makinelerin, profesyonellerin becerileriyle işe başlayıp, ancak yavaş yavaş bir çocuğun dil becerilerine doğru yol aldığını göstermektedir. İlk yapay zekâ sistemleri becerilerini ilk önce, matematik teoremlerinin kanıtlanması ve tıbbi rahatsızlıkların tanılanması gibi profesyonel alanlarda ortaya gösterdiler. Ancak, bu ilk sistemler Feigenbaum testini geçemezlerdi; çünkü Feigenbaum testinin ayrılmaz bir parçası olan profesyonel görüşmeye girmek için yapmaları gerektiği gibi, bilgiyi farklı bakış açılarından modelleyebilecek dil becerilerine ve esnekliğe sahip değillerdir.

Bu dil yeteneği, özünde Turing testinin gerektirdiği yeteneğin aynısıdır. Birçok farklı alanda akıl yürütmenin, çoğu yetişkin in-

sanın sağduyuyla yürüttüğü akıldan mutlaka daha zor olması gerekmez. Beklentim, makinelerin Turing testini geçtiği dönemlerde en azından bazı disiplinlerde Feigenbaum testini de geçebilmeleridir. Ancak Feigenbaum testinin bütün disiplinlerde geçilebilmesi büyük olasılıkla daha uzun sürecektir. 2030'ları bir bütünleşme dönemi olarak görmemin nedeni, bu dönemin, makine zekâsının becerilerini hızla geliştirip, bizim biyolojik insan uygarlığımızın engin bilgi tabanları ile makine uygarlığını birleştirecek olmasıdır. 2040'lara gelindiğinde, uygarlığımızın büyük bilgi birikimi ve becerilerini, yardım almayan biyolojik insan zekâsından binlerce kat daha yetenekli bilgi işlem platformlarına uygulama olanağını elde etmiş olacağız.

Güçlü yapay zekânın doğuşu, bu yüzyılda göreceğimiz en önemli dönüşüm olacaktır. Gerçekten de bu, biyolojinin doğuşuna kıyaslanabilecek kadar önemlidir. Güçlü yapay zekânın doğuşu, biyolojinin yarattığı bir şeyin, sonunda kendi zekâsına egemen olduğu, kendi sınırlarının üstesinden gelmenin yollarını bulduğu anlamına gelecektir. Çalışma ilkeleri bir kez anlaşıldıktan sonra insan zekâsının yeteneklerinin geliştirilmesi, kendi biyolojik zekâları biyolojik olmayan zekâyla ayrılmaz biçimde birleşerek zaten büyük ölçüde gelişmiş olacak insan bilim insanları ve mühendisler tarafından yapılacaktır. Zaman içinde biyolojik olmayan bölüm ağır basacaktır.

Kitap boyunca, bu dönüşümün bundan sonraki bölümde üzerinde yoğunlaşacağım etkilerini farklı açılardan irdeledik. Zekâ, problemleri sınırlı kaynaklarla çözebilme yeteneğidir, buna zaman sınırlamaları da dahildir. Tekilliği, biyolojik olmayan yönü giderek ağır basan, kendi güçlerini kavrayıp bu güçleri kendi yararı doğrultusunda kullanabilen insan zekâsının hızlı döngüsü simgeleyecektir.

Fütürist Bakterinin Arkadaşı, İÖ 2 Milyar: *Gelecek için şu düşüncelerini bana bir daha anlatır mısın?*

Fütürist Bakteri, İÖ 2 Milyar: *Bakterilerin birleşerek toplumlar oluşturacaklarını, bütün bir hücreler grubunun temelde çok gelişmiş yetenekleri olan büyük bir karmaşık organizma gibi davranacağını düşünüyorum.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı, İÖ 2 Milyar: *Bunu nereden çıkarıyorsun?*

Fütürist Bakteri, İÖ 2 Milyar: *Daptobakter dostlarımızdan bazıları çoktan daha büyük bakterilerin içine girip küçük ikililer oluşturdular bile.*[221] *Hücre dostlarımızın, her hücrenin kendi işlevinde uzmanlaşacağı bir şerit olarak bir araya gelmesi kaçınılmazdır. Şimdi ise her birimizin her şeyi kendi yapması gerekiyor, yiyecek bulmak, yiyeceği sindirmek, yan ürünler salgılamak gibi.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Peki sonra?*

Fütürist Bakteri: *Tüm bu hücreler birbirleriyle, senin, benim yapabileceğimiz kimyasal değişime göre alışverişin ötesine geçen bir iletişim kurmanın yollarını geliştirecekler.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Peki, bana şu geleceğin on trilyon hücrenin süper birleşmesi olayını bir daha anlatır mısın?*

Fütürist Bakteri: *Evet, benim modellerime göre yaklaşık iki milyar yıl içinde on trilyon hücreden oluşan büyük bir toplum tek bir organizmayı oluşturacak, bu da çok karmaşık örüntülerle birbirleriyle iletişim kurabilen on milyarlarca özel hücreyi de içerecek.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Ne tür örüntüler?*

Fütürist Bakteri: *Örneğin "müzik." Bu koskoca hücre şeritleri müzik örüntüleri oluşturarak bunları bütün diğer hücre şeritlerine iletecekler.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Müzik mi?*

Fütürist Bakteri: *Evet, ses örüntüleri.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Ses mi?*

Fütürist Bakteri: *Peki, konuya şöyle bak. Bu süper hücre toplumları, kendi düzenlerini anlayabilecek kadar karmaşık olacaklar. Kendi tasarımlarını geliştirip, giderek iyileşecek, giderek hızlanacaklar. Dünyanın geri kalanını kendi imgelerinde yeniden biçimlendirecekler.*

---

221 Ökaryot evriminin seri endosimbiyoz kuramına göre, mitokondriyaların (hücrelerde enerji üreten, insanlarda on üç geni oluşturan kendi genetik kodları olan yapılar) ilk ataları, günümüzde *Daptobakter* olarak adlandırılan bakteriye benzer, bağımsız bakterilerdi (yani, başka bir hücrenin bir parçası değildiler). "Serial Endosymbiosis Theory," http://encyclopedia.thefreedictionary.com/Serial%20endosymbiosis%20theory.

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Dur bir dakika. Bakteriliğimizin özünü yitireceğiz gibi görünüyor.*

Fütürist Bakteri: *Ah, ama hiçbir şeyimizi yitirmeyeceğiz.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Bunu hep söylüyorsun ama...*

Fütürist Bakteri: *Büyük bir ileri adım olacak. Bu, bakteriler olarak yazgımız. Ama zaten bizim gibi ortada salınan küçük bakteriler yine olacak.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Peki ya olumsuzlukları? Demek istediğim, Daptobakter ve Bdellovibrio bakterileri ne kadar zararlı olabilirler? Engin erişim güçleriyle geleceğin bu hücre birlikleri her şeyi bozup yıkabilir ama.*

Fütürist Bakteri: *O belirsiz, ama sanırım bunu atlatabiliriz.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Hep iyimsersindir zaten.*

Fütürist Bakteri: *Daha birkaç milyar yıl olumsuz yanlarını düşünmemize gerek yok.*

Fütürist Bakterinin Arkadaşı: *Peki o zaman, haydi yemek yiyelim.*

Bu Sırada, İki Milyar Yıl Sonrasında...

Ned Ludd: *Geleceğin bu zekâları 1812'de savaştığım tekstil makinelerinden beter olacak. O zaman yalnızca on iki kişinin işini yapabilen makinesi olan bir adamla uğraşıyorduk. Buradaysa sen tüm bir insanlıktan daha üstün, bilye büyüklüğündeki bir makineden söz ediyorsun.*

Ray: *Yalnızca insanlığın biyolojik bölümünden üstün olacak. Biyolojik olmasa bile, o bilye de yine insan.*

Ned: *Bu süper zekâlar yemek yemeyecekler. Nefes almayacaklar. Eşeyli üreme yöntemiyle çoğalmayacaklar... Peki, bunlar nasıl insan?*

Ray: *Teknolojimizle birleşeceğiz. Çoğu makine bedenlerimizin, beyinlerimizin içinde olmasa da, 2004 yılında bunu zaten yapmaya başladık. Makinelerimiz yine de zekâmızın erişim alanını genişletiyor. Erişim alanımızı genişletmek insan olmanın doğasında her zaman vardır.*

Ned: *Bak, bu süper zeki, biyolojik olmayan varlıkların insan olduklarını söylemek, bizim özümüzde bakteri olduğumuzu söylemeğe benzer. Sonuçta biz de onlardan evrilerek geliştik.*

Ray: *Çağdaş insanın bir hücreler topluluğu olduğu, bizim de evrimin bir ürünü olduğumuz doğru, aslında bunun uç noktasıyız. Ama zekâmızın ters mühendislik işlemiyle genişletilmesi, modellenmesi, simüle edilmesi, daha yetenekli katmanlarda yeniden kurulması, zekâmızın değiştirilip alanının genişletilmesi evrimde daha sonra gelecek adımdır. Evrilip teknoloji yaratan türler olarak gelişmek, bakterilerin yazgısıydı. Şimdi de Tekilliğin engin zekâsına doğru evrilmek bizim yazgımızdır.*

Altıncı Bölüm

ETKİLER

Gelecek, kendini içimizde dönüştürmek için, olup bitmeden çok önce girer içimize.

—Rainer Maria Rilke

Yaygın gelecek anlayışının en büyük kusurlarından biri, geleceğin bizim yarattığımız bir şey olarak değil, bize olan bir şey gibi görülmesidir.

—Michael Anissimov

"Tanrı'yı oynamak," gerçekte insan doğasının en yüksek anlatım biçimidir. Kendimizi geliştirme, çevremize egemen olma ve çocuklarımızı olası en iyi şekilde yetiştirme dürtüleri, tüm insanlık tarihinin en temel itici gücü olmuştur. Bu "Tanrı'yı oynama" dürtüsü olmadan, bildiğimiz anlamdaki dünya bugün var olmazdı. Birkaç milyon insan, avladıkları/topladıklarıyla kıt kanaat geçinerek, geniş çayır ve ormanlarda yazı, tarih, matematik olmadan, kendi evrenlerinin ya da kendi iç sistemlerinin inceliklerini bilmeden yaşardı.

—Ramez Naam

Etkiler Dizisi. Biyolojik olmayan zekâ ağır bastıktan sonra, insan deneyiminin doğası ne olacak? Güçlü yapay zekâ ile nano teknoloji, isteğimiz zaman *düşleyebildiğimiz* her tür ürünü, her tür durumu, her tür ortamı yaratabilmesi insan–makine uygarlığı için

anlama gelecek? Burada düşlemenin rolünü vurguluyorum, çünkü yarattığımız şeylerde hâlâ düşleyebildiklerimizle kısıtlı olacağız. Ancak, düşlediklerimizi yaşama geçirmek için kullanacağımız araçlar üstel olarak güçlenmekte.

Tekillik yaklaştıkça insan yaşamının doğası hakkındaki düşüncelerimizi yeniden değerlendirip, insanların kurumlarını yeniden tasarlamamız gerekecektir. Bu düşünce ve kurumlardan bazılarını bu bölümde inceleyeceğiz.

Örneğin, iç içe geçen G, N, R devrimleri, bizim dayanıksız 1.0 sürüm insan bedenlerimizi çok daha dayanıklı ve yetenekli 2.0 sürümüne dönüştürecek. Milyarlarca nanobot, bedenlerimizde, beyinlerimizde dolaşan kanın içinde gidecek. Bedenlerimizde, patojenleri yok edecekler, DNA hatalarını düzeltecekler, toksinleri atacaklar, fiziksel sağlığımızı geliştirmek için daha birçok görevi yerine getirecekler. Sonuçta, yaşlanmadan süresiz olarak yaşayabileceğiz.

Beyinlerimizde kümeler halinde dağılmış nanobotlar, biyolojik nöronlarımızla etkileşime girecekler. Bu, tüm duyularımızı olduğu gibi, duygularımızın da sinirsel bağlantılarını kapsayan tam bir sanal gerçeklik ortamının içine girmemizi, sinir sisteminin içinden sağlayacaktır. Daha önemlisi, biyolojik düşüncemiz ile yarattığımız biyolojik olmayan zekâ arasındaki bu yakın bağlantı, insanın zekâsını büyük ölçüde geliştirecektir.

Savaşlar, nanobot tabanlı silahlara olduğu gibi, sibersilahlara doğru da kayacak. Öğrenme önce çevrimiçine geçecek ama beyinlerimiz çevrimiçi olduğunda yeni bilgileri ve becerileri indirebileceğiz. Çalışmanın rolü, müzik ve sanattan matematik ve fen bilimlerine kadar her tür bilgiyi üretmek olacak. Oyunun rolü, bilgi üretmek olacak, yani işle oyun arasında belirgin bir ayrım olmayacak.

Zekâ, Yerküre ve çevresindeki üstel gelişmesini durmaksızın, zeki bilgi işlemi destekleyecek madde ve enerjinin sınırlarına ulaşıncaya kadar sürdürecektir. Biz gökadamızın bulunduğumuz köşesinden bu sınıra yaklaştıkça, uygarlığımızın zekâsı da dışarıya doğru, evrenin diğer bölgelerine doğru genişleyecek, çabucak, olabilecek en yüksek hıza erişecektir. Bu hızı, ışığın hızı olarak anlıyoruz, ama bu belirgin hızın da ötesine geçme olasılığımızın

bulunduğu da ileri sürülmektedir (belki de örneğin, solucan deliklerinden geçen kestirme yolları kullanarak).

İnsan Bedeni Üzerinde ...

Olunabilecek ne kadar çok farklı insan var.

—Donovan[1]

Kozmetik bebek, bağlan bana
Asla, asla başkasını bulma.
Anlıyorum kimse yeterince akıllı değil
benim plastik fantastik sevgilim için.

—Jefferson Airplane'in "Plastic Fantastic Lover" ["Plastik Fantastik Sevgili"] adlı parçasından

Makinelerimiz bize çok daha fazla benzeyecek, biz de çok daha fazla makinelerimize benzeyeceğiz.

—Rodney Brooks

Doğadan çıktığımda bir kez, artık
Doğal bir şeyden almayacağım bedenimin biçimini,
Yunan kuyumcularının döverek işledikleri
Altınlı, altın mineli biçimlerden öte

—William Butler Yeats, "Sailing to Byzantium" ["Bizansa Yolculuk"]

Bedenlerimizin fiziksel ve zihinsel sistemlerinin radikal biçimde yükseltilmesine, biyoteknoloji ve gelişmekte olan genetik mühendisliğinin sunduğu teknolojilerin kullanımıyla zaten başlandı. Önümüzdeki yirmi yıldan sonra, organlarımızı geliştirip, sonunda yenilemek için nanobotlar gibi nano mühendislik ürünü yöntemleri kullanacağız.

Yeni Bir Beslenme Yöntemi. Cinsellik, biyolojik işlevinden büyük ölçüde uzaklaştı. Genellikle üreme için değil, yakın iletişim ve duyusal haz için cinsel etkinliğe giriyoruz. Diğer yandan, üreme hâlâ

1 Donovan, "Season of the *Witch,*" *Sunshine Superman* (1966) albümünden.

çoğunlukla cinsel etkinlik amaçlı da olsa, fiziksel cinsellik olmadan bebek yapmanın çeşitli yöntemlerini geliştirdik. Cinselliğin biyolojik işlevinden ayrılmasını toplumun her kesimi hoş karşılamamakla birlikte, gelişmiş dünyada yaygın tercih olarak, çabucak, hatta istekle benimsendi.

Öyleyse biyolojiden benzer bir amaç ayrışmasını neden hem toplumsal yakınlık hem de duyusal haz veren bir diğer etkinlik, yani yemek yemek için sağlamıyoruz? Yiyecek tüketmenin asal biyolojik amacı, trilyonlarca hücremize taşıması için kana besin maddesi sağlamaktır. Bu besin maddeleri, (çoğunlukla karbonhidratlardan gelen) glikoz gibi (enerji taşıyan) kalori içeriklerini, proteinleri, yağları, vitaminleri, minerallerle çeşitli metabolik süreçlerin yapı taşlarını ve enzimleri sağlayan bitki kaynaklı kimyasallar gibi pek çok molekül içeriğini taşımakta.

İnsanın diğer tüm temel biyolojik sistemleri gibi sindirim sisteminin de yapısı şaşırtıcı derecede karışıktır; bir yandan bedenimizin ani değişen koşullara karşın yaşamını sürdürmesini sağlayacak karmaşık kaynakları çıkarıp alabilmesini, diğer yandan da çeşitli toksinleri süzmesini sağlar. Sindirim sisteminin temelini oluşturan karmaşık yollar hakkındaki bilgimiz hızla gelişmekle birlikte, henüz tam olarak anlamadığımız çok şey var.

Ama özellikle sindirim süreçlerimizin, evrimsel gelişimimizin şu anda bulunduğumuz dönemine hiç benzemeyen bir dönemine göre biçimlendiğini biliyoruz. Tarihimizin büyük bölümünde, bir sonraki toplama ya da avlanma mevsiminin (kısa ve görece yakın bir dönemde de gelecek ekim mevsiminin) yıkım derecesinde verimsiz geçmesi olasılığıyla yüz yüze yaşadık. Bu nedenle, bedenlerimizin, tükettiğimiz her kaloriyi tutmasının mantığı vardır. Bu biyolojik strateji bugün ters etki yapmakta, günümüzde yaşanan obezite salgınının temelinde yatan, günün koşullarını karşılamayan metabolik bir programlamaya dönüşüp, koroner damar hastalığı ve Tip II şeker hastalığı gibi dejeneratif hastalık süreçlerini körüklemektedir.

Sindirim sistemimiz ile bedenimizin diğer sistemlerinin neden bugünün koşullarına en uygun sistemler olmaktan uzak olduğunu düşünün. Yakın zamana kadar (evrimsel zaman ölçeğinde), benim gibi yaşlı insanların (1948 doğumluyum) klanın elindeki sınırlı

kaynakları tüketmesi türümüzün yararına değildi. Evrim, kısıtlı kaynakların gençlere, kendilerine bakabilen, kol kuvveti gerektiren işleri yapabilecek güce sahip olanlara kalması için kısa bir yaşam süresini yeğliyordu; daha iki yüz yıl öncesine kadar yaşam beklentisi otuz yedi yıldı. Daha önce irdelendiği gibi, (kabilenin az sayıdaki "bilge" yaşlı üyesinin insan türüne yararlı olduğunu ileri süren) büyükanne varsayımı, insan ömrünü büyük oranda uzatan genler için güçlü bir seçici etki olmadığı gözlemini pek fazla çürütmez.

Bugün malzemenin çok bol olduğu bir çağda yaşıyoruz; bu en azından teknolojik olarak ileri ülkelerde böyle. İşlerin çoğu fiziksel çaba yerine zihinsel çaba gerektiriyor. Bundan yüz yıl önce ABD'deki işgücünün yüzde 30'u çiftliklerde, diğer bir yüzde 30'u da fabrikalarda çalışıyordu. Her iki oran da bugün yüzde 3'ün altındadır.[2] Uçuş kontrolörlüğünden web tasarımcılığına kadar, günümüzün birçok meslek sınıfı bundan yüz yıl öncesinde yoktu. 2004 yılı dolaylarında, çocuk yetiştirme yaşımızdan uzun zaman sonra da, uygarlığımızın üstel olarak büyüyen bilgi tabanına –bu türümüze özgü bir özelliktir– katkılarımızı sürdürebiliyoruz. (Doğum patlaması döneminde doğmuş biri olarak tabii ki böy düşünüyorum.)

Türümüz, teknoloji sayesinde doğal yaşam süresini zaten uzattı: İlaçlar, takviyeler, bedenin hemen hemen tüm sistemlerinin değiştirilebilmesi, daha birçok başka icat. Kalçamızın, dizlerimizin, omuzlarımızın, dirseklerimizin, bileklerimizin, çene kemiğimizin, dişlerimizin, derimizin, atardamarlarımızın, kan damarlarımızın, kalp kapakçıklarımızın, kollarımızın, bacaklarımızın, ayaklarımızın, el ve ayak parmaklarımızın yerine konabilecek aygıtlarımız vardır; daha karmaşık organlarımızın (örneğin, kalbimizin) yerine konabilecek sistemlerimiz de yapılmaya başlandı. İnsan bedeni ve

2 Tarım işgücünde azalmanın nedenleri arasında hayvan ve insanların emeğine duyulan gereksinimi azaltan mekanikleşme, II. Dünya Savaşı sırasında kentsel alanlarda yaratılan ekonomik olanaklar ve aynı verimi elde etmek için daha az toprak gerektiren yoğun tarım tekniklerinin geliştirilmesi yer alır. ABD Tarım Bakanlığı, Ulusal Tarım İstatistikleri Servisi, ABD Tarımında Eğilimler, http://www.usda.gov/nass/pubs/trends/farmpopulation.htm. Bilgisayar destekli üretim, anında üretim (düşük stok düzeyi sağlar), maliyetlerin düşürülmesi için yurtdışında üretim, fabrikadaki işlerin yitirilmesine katkıda bulunan yöntemlerden bazılarıdır. *Bkz.* ABD Çalışma Bakanlığı, ***Futurework: Trends and Challenges of Work in the 21st Century***, http://www.dol.gov/asp/programs/history/herman/reports/futurework/report.htm.

beyninin çalışma ilkelerini öğrendikçe, arıza, hastalık, yaşlanma gibi kırılganlıklar olmadan, daha uzun süre dayanacak ve daha yüksek performans elde edecek çok daha üstün sistemleri geliştirebilecek duruma geleceğiz.

Bu tür sistemin kavramsal tasarımına bir örnek olan Primo Posthuman [ilk insan–sonrası], sanatçı ve kültür katalizörü Natasha Vita–More tarafından üretildi.[3] Vita–More'un tasarımı, hareketliliğin, esnekliğin ve çok uzun yaşamın optimizasyonunu amaçlamakta. Sistem, küresel ağ bağlantısı için nanobotlarla örülmüş bir protez yapay zekâ neokorteksi olan bir metabeyin, renk ve doku değişimlerine karşı biyoalgılayıcıları olan ve güneşten korunan akıllı deri ile keskin duyarlığa sahip duyular gibi unsurları öngörmekte.

İnsan bedeninin 2.0 sürümü çalışması süren, sonunda da bütün fiziksel ve zihinsel sistemlerimizin radikal biçimde yükseltilmesiyle sonuçlanacak büyük bir proje olsa da, bu sürümü küçük, yumuşak adımlarla tamamlayacağız. Bugünkü bilgimize dayanarak bu vizyonun her yönüyle gerçekleştirilmesinin yollarını tanımlayabiliriz.

Sindirim Sisteminin Yeniden Tasarlanması. Bu bakış açısıyla yine sindirim sistemine dönelim. Elimizde, yediğimiz yiyecekleri oluşturan ögelerin çoktan kapsamlı bir resmi var. Yemek yiyemeyen insanları, damar içinden besleyerek nasıl yaşatacağımızı biliyoruz. Ancak, maddeleri kana vermek ve kandan çıkarmak için kullandığımız teknolojiler şu an oldukça sınırlı olduğundan, bu tabii ki arzu edilen bir seçenek değildir.

Bu alandaki ilerlemenin ikinci aşaması büyük ölçüde biyokimyasal, fazla kalorinin emilimini önleyip, metabolik yolları optimal sağlık için farklı biçimde yeniden programlayacak ilaç ve takviyelerle olacaktır. Joslin Diyabet Merkezinden Dr. Ron Kahn'ın yürüttüğü araştırmayla yağ hücrelerinin biriktirdiği yağı denetleyen "yağ hücresi insülin reseptör" geni çoktan saptandı. Dr. Kahn'ın yol gösterici çalışması, farelerin yağ hücrelerinde bir tek bu genin ekspresyonunun engellenmesiyle, hayvanların hiçbir kısıtla-

3 Örneğin, *bkz.* Natasha Vita–More, "The New [Human] Genre Primo [First] Posthuman," Ciber@RT Konferansında verilen bildiri, Bilbao, İspanya, Nisan 2004, http://www.natasha.cc/paper.htm.

ma olmadan yemelerine karşın yine de ince ve sağlıklı kalabildiklerini ortaya koydu. Kontrollü farelerden çok daha fazla yemek yemelerine karşın, "yağ hücresi insülin reseptör geni devre dışı" bırakılmış olan fareler hem yüzde 18 oranında daha uzun süre yaşamışlar, hem de bu farelerde kalp ve şeker hastalıkları çok daha düşük oranlarda görülmüştür. İlaç şirketlerinin, bu bulguları insanın "yağ hücresi insülin reseptör" genine uygulamak için bu kadar çok çalışmalarına şaşırmamak gerekir.

Ara bir evrede, sindirim kanalı ve kanda yer alacak nanobotlar, tam gereksindiğimiz besin maddelerini zeki bir biçimde çıkarıp alacak, kişisel kablosuz yerel ağımız sayesinde ek besin maddelerini, takviyeleri ısmarlayıp, maddenin kalan kısımlarını yok edilmeye gönderecekler.

Bu, size fütüristik bir düşünce gibi gelirse, zeki makinelerin kan dolaşımımızda yol almaya zaten başladığını hatırlayın. Çeşitli tanı ve sağaltım uygulamalarını hedefleyen, düzinelerce kan dolaşımı tabanlı BiyoMEMS oluşturma projesi yoldadır.[4] Belirtildiği gibi bu projelere odaklanan birçok büyük konferans da düzenlenmekte.[5] Patojenleri akıllıca belirleyip tam doğru yöntemlerle ilaç gönderecek BiyoMEMS aygıtları geliştiriliyor.

4 Rashid Bashir 2004 yılında şöyle özetlemiştir:
Sağaltıcı mikro ve nano teknolojilerde de epeyce ilerleme kaydedilmiştir. ... Belirli örneklerden bazıları, (i) önceden yüklenmiş ilaçların salımını sağlayan bir ağzın açılması için elektrikle harekete geçirilebilen silikon tabanlı bedene yerleştirilebilir aygıtlar, (ii) elektrikle harekete geçirilerek, önceden yüklenen ilaçların salımı için bir valf ya da kas gibi davranan polimerlerle çalıştırılan silikon aygıtlar, (iii) insülin salımı için nano gözenekli membranı olan silikon tabanlı mikro kapsüller, (iv) ilaçlarla birlikte önceden yüklenip, pH derecesindeki değişim gibi belirli çevre koşullarıyla karşılaştıklarında sonradan genişlemeye zorlanıp yüklenmiş olan ilacı salıveren tüm polimer (ya da hidrojel) parçacıklar, (v) tanıma proteinleriyle kaplı metal nanoparçacıklar, burada dışarıdan verilen optik enerjiyle ısıtılabilen parçacıklar istenmeyen hücreleri ve dokuları bölgesel olarak ısıtıp bozabilmektedir, vb
R. Bashir, "BioMEMS: State–of–the–Art in Detection, Opportunities and Prospects," *Advanced Drug Delivery Reviews* 56.11 (22 Eylül 2004): 1565–1586. Yeniden baskısı şu adreste bulunmaktadır: https://engineering.purdue.edu/LIBNA/pdf/publications/BioMEMS%20review%20ADDR%20final.pdf. *Ayrıca bkz.* Richard Grayson vd, "A BioMEMS Review: MEMS Technology for Physiologically Integrated Devices," *IEEE Proceedings* 92 (2004): 6–21.

5 Uluslararası BiyoMEMS ve Biyomedikal Nano teknoloji Derneğinin etkinlikleri için *bkz.* http://www.bme.ohio-state.edu/isb. BioMEMS konferanslarının listesi SPIE web sitesinde de verilmektedir: http://www.spie.org/Conferences.

Örneğin, nano mühendislik ürünü, kan yoluyla insülin gibi hormonları taşıyan aygıtlar hayvanlarda uygulandı.[6] Benzer sistemler, Parkinson hastalarında beyne, bir nöro-iletici olan dopamini doğru olarak taşıyabilir, hemofili hastalarında kanın pıhtılaşmasını sağlayabilir, kanser ilaçlarını doğrudan tümöre taşıyabilir. Yeni bir tasarımla, yirmiye kadar maddeyi barındırıp, taşıdıkları kargoyu programlanan zamanda programlanan yere bırakabilen hazneler elde edilmektedir.[7]

Michigan Üniversitesi elektrik mühendisliği profesörlerinden Kensall Wise, sinir hastalığı bulunan hastalardaki elektrik etkinliğinin tam olarak izlenebilmesini sağlayan çok küçük bir sinir probu geliştirdi.[8] Gelecekte yapılacak tasarımların da ilaçları beyindeki belirlenmiş noktalara taşıyabilmeleri bekleniyor. Japonya'da Tohoku Üniversitesinden Kazushi Ishiyama, mikroskobik bir döner vida gibi çalışarak küçük kanserli tümörlere ilaç taşıyan mikro makineler geliştirdi.[9]

Sandia Ulusal Laboratuvarları tarafından geliştirilen, özellikle yenilikçi bir mikro makine, mikro ölçekli dişlerin bulunduğu ağzını açıp kapayarak hücreleri teker teker avlamakta, ardından

---

6 Araştırmacılar, şeker hastalığında kan şekerini izlemek için altın bir nanoparçacık kullanmışlardır. Y. Xiao vd, " 'Plugging into Enzymes': Nanowiring of Redox Enzymes by a Gold Nanoparticle," *Science* 299.5614 (21 Mart 2003): 1877–1881. *Ayrıca bkz.* T. A. Desai vd, "Abstract Nanoporous Microsystems for Islet Cell Replacement," *Advanced Drug Delivery Reviews* 56.11 (22 Eylül 2004): 1661–1673.

7 A. Grayson, vd, "Multi-pulse Drug Delivery from a Resorbable Polymeric Microchip Device," *Nature Materials* 2 (2003): 767–772.

8 Q. Bai ve K. D. Wise, "Single–Unit Neural Recording with Active Microelectrode Arrays," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 48.8 (Ağustos 2001): 911–920. Wise'ın çalışmasının tartışması için *bkz.* J. DeGaspari, "Tiny, Tuned, and Unattached," *Mechanical Engineering* (Temmuz 2001), http://www.memagazine.org/backissues/july01/features/tinytune/tinytune.html; K. D. Wise, "The Coming Revolution in Wireless Integrated MicroSystems," Digest Uluslararası Algılayıcı Konferansı 2001 (Davetli Açılış Konuşması), Seul, Ekim 2001. Çevrimiçi sürüm (13 Ocak 2004): http://www.stanford.edu/class/ee392s/Stanford392S-kw.pdf.

9 " 'Microbots' Hunt Down Disease," *BBC News*, 13 Haziran 2001, http://news.bbc.co.uk/1/hi/health/1386440.stm. Mikromakineler silindirik mıknatıs tabanlıdır; *bkz.* K. Ishiyama, M. Sendoh ve K. I. Arai, "Magnetic Micromachines for Medical Applications," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 242–45, 1. bölüm (Nisan 2002): 41–46.

bunlara DNA, protein ya da ilaç gibi maddeleri yerleştirmektedir.[10] Bedenin ve kan dolaşımının içine girebilecek yeteneğe sahip mikro ve nano ölçekli makineler için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir.

Çalışmaların sonucunda, her bireyin ideal sağlığına kavuşması için gerekli tam besin maddelerini (yüzlerce bitkisel kaynaklı kimyasal da dahil) belirleyebilecek duruma geleceğiz. Bu maddeler kolaylıkla ve pahalı olmayan fiyatlarla elde edilebilecek, böylece besin maddelerimizi yiyeceklerden elde etmekle uğraşmak zorunda kalmayacağız.

Metabolizmaya uygun özel nanobotlar sayesinde besin maddeleri doğrudan kana karışırken, kan dolaşımımızda ve bedenimizdeki algılayıcılar da kablosuz iletişim yoluyla her bölgenin besin maddesi gereksinimine ait anlık bilgiyi iletebilecekler. Bu teknoloji herhalde 2020'lerin sonlarında olgunlaşmış olacaktır.

Böyle sistemlerin tasarımındaki başlıca sorulardan biri, nanobotların bedene nasıl yerleştirilip, nasıl çıkarılacağı sorusudur. Bugün sahip olduğumuz damar içi kateter gibi teknolojilerde yapılacak daha çok şey var. Bununla birlikte, ilaçlar ve besin maddelerinin aksine, nanobotlar belli bir zekâya sahiptir, taşıdıkları madde stokunu takip edebilir, kendi zekâlarını kullanarak bedenlerimize girip çıkabilirler. Senaryolardan biri, kemer ya da atletimizde, deriden ya da bedenimizdeki diğer boşluklardan geçerek bedene girebilecek besin yüklü nanobotları taşıyan özel bir besin aygıtının bulunmasıdır.

Teknolojik gelişmenin bu evresine ulaştığımızda, artık istediğimiz her şeyi, bize zevk ve gastronomik doyum verecek her şeyi yiyip, yemek pişirme sanatlarını salt yiyeceklerin tadı, dokusu ve kokusu için keşfederken, bizim için en uygun besin maddeleri de kanımızda dolaşacaktır. Bunu başarmanın olası bir yöntemi, yediğimiz bütün yiyeceklerin, kana karışmaya izin vermeyen, uyarlanmış bir sindirim kanalından geçirilmesidir. Ama bu, kalınbağırsağa ve bağırsaklarımızın işleyişine yük getireceği için daha hassas

10 *Bkz.* Sandia Ulusal Laboratuvarları basın bülteni, "Pac–Man–Like Microstructure Interacts with Red Blood Cells," 15 Ağustos 2001, http://www.sandia.gov/media/NewsRel/NR2001/gobbler.htm. Yanıt olarak yazılan sektörel makale için *bkz.* D.Wilson,"Microteeth Have a Big Bite," 17 Ağustos 2001, http://www.e4engineering.com/item.asp?ch=e4_ home&type=Features&id=42543.

bir yöntem geleneksel boşaltım yoluyla atmak olacaktır. Bunu da, küçük çöp sıkıştırıcıları gibi çalışacak özel boşaltım nanobotları kullanarak yapabiliriz. Besin maddesi taşıyan nanobotlar bedenimize girebilir, boşaltım nanobotları ise tersi yönde ilerleyebilir. Böyle bir buluş, kandaki pislikleri süzen böbrek gibi organlara olan gereksinimimizden de vazgeçebilmemizi sağlayacaktır.

En sonunda, artık özel giysilerle ya da açık besin kaynaklarıyla uğraşmamıza gerek kalmayacaktır. Bilgi işlemin her an her yerde olacağı gibi, gereksindiğimiz temel metabolizma robotlarının kaynakları da içinde bulunduğumuz ortamda yerleşik olacaktır. Ancak, gereksinilen bütün kaynaklardan yeterli miktarda yedeklerini bedenin *içinde* de bulundurmak önemlidir. 1.0 sürümlü bedenlerimiz bunu çok sınırlı bir düzeyde yapmaktadır; örneğin, kanda birkaç dakika yetecek kadar oksijen saklamak, birkaç günlük kalori enerjisine yetecek glikojen ve diğer yedekler gibi. 2.0 sürümü çok daha fazla yedek olanağı sağlayarak, metabolik kaynaklardan uzun sürelerle uzaklaşabilmemiz fırsatını verecektir.

Tabii ki bu teknolojiler ortaya çıktığında birçoğumuz eski tarz sindirim işlemlerimizi hemen bir kenara koyuvermeyeceğiz. Sonuçta, ilk kuşak sözcük işlemciler piyasaya ilk çıktığı zaman insanlar daktilolarını hemen atıvermediler. Ancak yine de bu yeni teknolojiler zamanla ağır basacaktır. Bugün daktilo, fayton, odun sobası ya da diğer terk edilmiş teknolojileri (antikacılık deneyimi olarak düşünülenlerin dışında) kullanan az sayıda insan hâlâ vardır. Benzer bir durum yeniden yapılandırılmış bedenlerimiz için de söz konusu olacaktır. Radikal biçimde değiştirilmiş sindirim sistemiyle, kaçınılmaz bir komplikasyonu bir kere çözdüğümüzde, bu sisteme giderek daha fazla güveneceğiz. Nanobot tabanlı bir sindirim sistemi yavaş yavaş, önce sindirim kanalı geliştirilerek, ancak birçok yinelemeden sonra yenisiyle değiştirilerek uygulanabilir.

Programlanabilir Kan. Daha şimdiden kapsamlı olarak ele alınıp, ters mühendislik işlemiyle kavramsal olarak yeniden tasarlanmakta olan büyük bir sistem, kanımızdır. Daha önce, Rob Freitas'ın, alyuvarlarımızın, pıhtı yuvarlarımızın ve akyuvarlarımızın yerine geçecek, nano teknoloji tabanlı tasarımlarından söz etmiş-

tim.[11] Biyolojik sistemlerimizin birçoğu gibi alyuvarlarımız da oksijen alıp verme işlemini çok verimsiz bir biçimde yürütürler, bu nedenle Freitas, ideal performansı yakalayabilmeleri için bu hücreleri yeniden tasarlamıştır. Freitas'ın, bir insanın oksijen olmadan saatlerce yaşayabilmesini sağlayan[12] respirositlerinin (robotik alyuvarları) sağlayacağı gelişmenin, atletizm yarışlarında nasıl ele alınacağını görmek ilginç olacaktır. Kanımca, Olimpiyatlar gibi etkinliklerde respirositler ve benzer sistemlerin kullanımı yasaklanır, ama o durumda da karşımıza (kanları büyük olasılıkla respirositle zenginleştirilmiş olan) genç kuşağın düzenli olarak Olimpiyat atletlerinin önüne geçmeleri olasılığı çıkacaktır. Bunun prototiplerinin yapılmasına henüz en az on ya da yirmi yıl zaman olsa da, fiziksel ve kimyasal gereksinimler olağanüstü ayrıntılı biçimde hesaplanmıştır. Yürütülen analizler, Freitas'ın tasarımlarının bizim biyolojik kanımıza oranla yüzlerce ya da binlerce kat daha fazla oksijen depolayıp taşıyabilecek kapasitede olduğunu göstermiştir.

Freitas ayrıca, biyolojik pıhtı yuvarlardan bin kata kadar daha hızlı homeostaz (kanamanın denetlenmesi) yapabilecek, mikron boyutlu yapay pıhtı yuvarlar[13] ve belirli enfeksiyonları antibiyotiklerden yüzlerce kez daha çabuk yok edebilecek bir yazılımı indirecek, ilaca karşı hiçbir direnç sınırı söz konusu olmadan bütün bakteri, virüs ve mantar enfeksiyonlarına, ayrıca kansere de karşı etkili olacak (akyuvarların yerine geçecek) nanorobot "mikrobivorlar" da tasarlamaktadır.[14]

---

11 *Bkz.* Freitas'ın kitapları, *Nanomedicine,* cilt 1, *Basic Capabilities* (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999) ve *Nanomedicine,* cilt 2A, *Biocompatibility* (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2003), her ikisi de ücretsiz olarak çevrimiçi sunulmaktadır, http://www. nanomedicine.com. *Ayrıca bkz.* Foresight Enstitüsünün "Nanomedicine" sayfası. Robert Freitas tarafından hazırlanan sayfa güncel teknik çalışmaların listesini vermektedir (http://www. foresight.org/Nanomedicine/index.html#MedNanoBots).

12 Robert A. Freitas Jr., "Exploratory Design in Medical Nanotechnology: A Mechanical Artificial Red Cell," *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobilization Biotechnology* 26 (1998): 411–430, http://www.foresight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html.

13 Robert A. Freitas Jr., "Clottocytes: Artificial Mechanical Platelets," *Foresight Update* no. 41, 30 Haziran 2000, s. 9–11, http://www.imm.org/Reports/Rep018.html.

14 Robert A. Freitas Jr., "Microbivores: Artificial Mechanical Phagocytes," *Foresight Update* no. 44, 31 Mart 2001, s. 11–13, http://www.imm.org/Reports/

Kalbimiz Olsun mu, Olmasın mı? Geliştirilecekler listesinde bundan sonra gelen organımız, çapraşık ve etkileyici bir makine olmakla birlikte, bazı ciddi sorunları olan kalptir. Kalbin arıza yaptığı sayısız durum söz konusudur, bu da uzun ömür potansiyeli üzerinde çok temel bir zayıflığı temsil etmektedir. Çoğu zaman kalp, bedenin diğer bölümlerinden çok daha erken, çoğu kez de zamanından önce bozulur.

Kalbin yerine yapay kalp takılması daha verimli olmaya başlamış olsa da, kalpten tamamen kurtulmak daha etkili bir yaklaşım olacaktır. Freitas'ın tasarımları arasında kendi devinimlerini sağlayan nanorobot kan hücreleri yer almaktadır. Kan kendi başına akabildiği zaman, merkezi pompalama işlemi için gerekli yüksek basınçla ilgili teknik konular da ortadan kaldırılabilecektir. Nanobotların kan rezervine gidiş gelişlerinin yöntemlerini daha da mükemmelleştirdikçe, bu nanobotları sürekli olarak yenileyebileceğiz. Freitas ayrıca, "vasküloit" adı verilen, beş yüz trilyon nanorobotluk karmaşık bir sistemin tasarımını da yayımlamıştır. Tasarlanan sistem, insanın kan dolaşımının tamamının, gerekli besin maddelerini, hücreleri taşıyacak, sıvı tabanlı olmayan bir yöntemle değişmesini sağlamaktadır.[15]

Bedenin enerjisi de, ya hidrojen ya da bedenin kendi yakıtı olan ATP [adenozin trifosfat] kullanılarak, mikroskobik yakıt hücreleri tarafından sağlanacaktır. Geçen bölümde betimlediğim gibi, yakın dönemde hem MEMS ölçeğinde hem de nano ölçekteki yakıt hücrelerinde, bedenin kendi glikoz ve ATP enerji kaynaklarını kullananlar da dahil olmak üzere, önemli ilerlemeler kaydedildi.[16]

Rep025.html ya da http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0453.html.

15 Robert A. Freitas Jr., "The Vasculoid Personal Appliance," *Foresight Update* no. 48, 31 Mart 2002, s. 10–12, http://www.imm.org/Reports/Rep031.html; makalenin tamamı: Robert A. Freitas Jr. ve Christopher J. Phoenix, "Vasculoid: A Personal Nanomedical Appliance to Replace Human Blood," *Journal of Evolution and Technology* 11 (Nisan 2002), http://www.jetpress.org/volume11/vasculoid.html.

16 Carlo Montemagno ve George Bachand, "Constructing Nanomechanical Devices Powered by Biomolecular Motors," *Nanotechnology* 10 (Eylül 1999): 225–231; "Biofuel Cell Runs on Metabolic Energy to Power Medical Implants," *Nature* çevrimiçi, 12 Kasım 2002, http://www.nature.com/news/2002/021111/full/021111-1.html, N. Mano, F. Mao ve A. Heller, "A Miniature Biofuel Cell Operating in a Physiological Buffer" hakkında rapor, *Journal of the Ameri-*

Respirositlerin sağlayacakları çok gelişmiş oksijen alışverişi sayesinde, oksijen getirip karbondioksiti atacak nanobotlar kullanıp akciğerleri ortadan kaldırabileceğiz. Diğer sistemlere gelince, bu teknolojilerin doğal süreçlerimizi kolaylıkla yükselteceği ara evrelerden geçecek, böylece her iki dünyanın da en iyilerine sahip olabileceğiz. Yine de, sonuçta, gerçek solunumun yarattığı karmaşıklığı, gittiğimiz her yerde soluyabileceğimiz uygun havayı bulma gerekliliğinin yükünü sürdürmemiz için bir neden kalmayacaktır. Soluk almaktan zevk alıyorsak, bu duyusal deneyimi yaşamanın sanal yollarını da geliştirebiliriz.

Zaman içinde, kana ve diğer metabolik kanallara karışan kimyasalları, hormonları, enzimleri üreten diğer organlarımıza da gereksinimimiz kalmayacaktır. Bu maddelerin çoğunun biyolojik özdeşlerini yapay olarak üretebiliyoruz. On ya da yirmi yıl içinde de biyokimyasal açıdan uygun maddelerin büyük çoğunluğunu düzenli olarak oluşturabileceğiz. Yapay hormon organlarını yapmaya şimdiden başladık. Örneğin, Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı ile California'da bulunan Medtronic MiniMed, derinin altına yerleştirilecek yapay bir pankreas geliştiriyorlar. Yapay pankreas, biyolojik pankreas islet hücrelerimiz gibi çalışan bir bilgisayar programı kullanarak, kandaki glikoz düzeylerini izleyip, gerekli miktarlardaki insülini salgılayacaktır.[17]

İnsan bedeninin 2.0 sürümünde hormonlar ve ilgili maddeleri (hâlâ gereksindiğimiz ölçüde) nanobotlarla taşınacak, gerekli düzeyleri koruyup dengelemek amacıyla zeki biyolojik geribildirim sistemlerince denetlenecektir. Biyolojik organlarımızın çoğunu aradan çıkaracağımız için bu maddelerin birçoğuna gerek kalmayabilecek, yerlerine nanorobot sistemlerinin gerektirdiği diğer kaynaklar yerleştirilebilecektir.

Peki, Geriye Ne Kaldı? 2030'ların başlarında ne olacağımıza bir bakalım. Kalbi, akciğerleri, alyuvarlar ile akyuvarları, pıhtı yu-

can Chemical Society 124 (2002): 12962–63; Carlo Montemagno vd, "Self–Assembled Microdevices Driven by Muscle," *Nature Materials* 4.2 (Şubat 2005): 180–184, elektronik olarak yayımlanmıştır (16 Ocak 2005).

17 Bu girişim hakkında güncel bilgi için *bkz.* Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı web sitesi (http://www.llnl.gov), ayrıca Medtronic MiniMed web sitesi, http://www.minimed.com/corpinfo/index.shtml.

varları, pankreası, tiroit ve diğer hormon üreten organları, böbrekleri, idrar kesesini, karaciğeri, alt yemek borusunu, mideyi, ince ve kalın bağırsağı yok ettik. Bu noktada elimizde iskelet, deri, cinsel organlar, ağız ve üst yemek borusu ile beyin kaldı.

İskelet, dengeli bir yapıdır, çalışması hakkında da oldukça bilgiliyiz. Artık bazı bölümlerini değiştirebiliyoruz (yapay kalçalar ve eklemler gibi); ancak bu işlem acılı cerrahi müdahale gerektiriyor, bugün sahip olduğumuz teknoloji ise ciddi kısıtlamalar getiriyor. Birbirleriyle bağlantılı nanobotlar, iskeletin büyütülmesi, sonunda da aşamalı ve dışarıdan uygulanabilecek noninvaziv yöntemle değiştirilmesi yeteneğini günün birinde bize sağlayacaktır. İnsan iskeletinin 2.0 sürümü çok güçlü, dengeli ve kendini onarabilen bir yapıda olacaktır.

Çalışmalarını doğrudan görmediğimiz için, karaciğer, pankreas gibi birçok organın yokluğunu fark etmeyeceğiz. Ama birincil ve ikincil cinsel organlarımızı da içine alan deri, aslında korumak isteyebileceğimiz bir organ olabilir ya da en azından yaşamsal iletişim ve zevk işlevlerini korumak isteyebiliriz. Bununla birlikte, sonunda, bir yanda fiziksel ve ısıl etkilere karşı daha fazla koruma sağlarken diğer yanda yakın ilişki kurma yeteneğimizi geliştirecek yeni nano tekniklerle üretilmiş esnek malzemeyle deriyi iyileştirebileceğiz. Aynı gözlem, beslenmek için kullandığımız sindirim sisteminin geri kalan yönlerini oluşturan ağız ve üst yemek borusu için de geçerli.

İnsan Beyninin Yeniden Tasarlanması. Daha önce irdelediğimiz gibi, ters mühendislik işlemi ve yeniden tasarım, bedenlerimizin en önemli sistemini, yani beynimizi kapsayacaktır. Listesi hızla büyüyen, beyin bölgeleri için "nöromorfik" modellemeye (insan beyni ve sinir sisteminde ters mühendislik uygulamaları) dayanan implantlarımız, daha bugünden elimizde.[18] MIT ve Harvard

18 "Beyinden beyine doğrudan iletişim, ... hükümet raporlarından çok Hollywood filmlerinin işi gibi durmaktadır, ama bunlar ABD Ulusal Bilim Vakfı ile Ticaret Bakanlığının kısa süre önce yayımladığı bir rapordaki ilerleme öngörüleri arasında yer almaktadır." G. Brumfiel, "Futurists Predict Body Swaps for Planet Hops," *Nature* 418 (25 Temmuz 2002): 359.
Beyne yerleştirilmiş elektrotlardan gelen elektrik akımının beynin çalışmasını etkilediği derin beyin simülasyonu, Amerikan Gıda ve İlaç Kurumunun Parkinson hastalığında kullanılması için onayladığı bir nöron protezidir ve

araştırmacıları, hasarlı retinaların yerine yerleştirilecek nöron implantları geliştiriyorlar.[19] Parkinson hastaları için doğrudan beynin alt arka çekirdek ve subtalamik çekirdek bölgeleriyle iletişime geçerek, bu hastalığın en yıkıcı belirtilerini tersine çeviren implantlar mevcut.[20] Beyin felci ve multipl skleroz hastaları için yapılan bir implant, alt yanal nöron ucuyla iletişim kurarak, titremelerin denetlenmesinde etkili oldu.[21] Bu öncü sağaltım yöntemlerine katkıda bulunanlardan, Amerikalı doktor Rick Trosch, "Beyne çorba gibi davranıp, belli nöro-ileticileri artırıp baskılayacak kimyasallar eklemek yerine, artık beyni bir devre gibi ele alıyoruz," diye açıklamakta.

Biyolojik bilgi işleme süreçlerinin ıslak analog dünyası ile sayısal elektronik arasındaki iletişim köprüsünü kurmak amacıyla ayrıca çeşitli teknikler geliştirilmektedir. Almanya'daki Max Planck Enstitüsü araştırmacıları, nöronlarla her iki yönde iletişim kurabilen noninvaziv aygıtlar geliştirdiler.[22] Araştırmacılar,

---

diğer nörolojik hastalıklar için test edilmektedir. *Bkz.* Al Abbott, "Brain Implants Show Promise Against Obsessive Disorder," *Nature* 419 (17 Ekim 2002): 658 ve B. Nuttin vd, "Electrical Stimulation in Anterior Limbs of Internal Capsules in Patients with Obsessive–Compulsive Disorder," *Lancet* 354.9189 (30 Ekim 1999): 1526.

19 *Bkz.* Retina İmplantı projesinin web sitesi (http://www.bostonretinalimplant.org). Site, son dönemde yazılmış olan makaleler de dahil çeşitli kaynakları içermektedir. Bu makalelerden biri: R. J. Jensen vd, "Thresholds for Activation of Rabbit Retinal Ganglion Cells with an Ultrafine, Extracellular Microelectrode," *Investigative Ophthalmalogy and Visual Science* 44.8 (Ağustos 2003): 3533–3543.

20 Amerikan Gıda ve İlaç Kurumu, Medtronic'in bu amaçla kullanılan protezini 1997 yılında yalnızca tek bir taraf için onaylamıştır. Beynin iki tarafında da kullanım içinse 14 Ocak 2002'de onaylanmıştır. S. Snider, "FDA Approves Expanded Use of Brain Implant for Parkinson's Disease," Amerikan Gıda ve İlaç Kurumu, FDA Talk Paper, 14 Ocak 2002, http://www.fda.gov/bbs/topics/ANSWERS/2002/ANS01130.html. En yeni sürümleri, yazılım güncellemelerinin hastaya dışarıdan yüklenmesini sağlamaktadır.

21 Medtronic, beyin felci için bedene yerleştirilebilen bir implant da yapmaktadır. *Bkz.* S. Hart, "Brain Implant Quells Tremors," *ABC News*, 23 Aralık 1997, http://nasw.org/users/hart/subhtml/abcnews.html. *Ayrıca bkz.* Medtronic web sitesi: http://www.medtronic.com.

22 Günther Zeck ve Peter Fromherz, "Noninvasive Neuroelectronic Interfacing with Synaptically Connected Snail Neurons Immobilized on a Semiconductor Chip," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98.18 (28 Ağustos 2001): 10457–10462.

"nöron transistörlerini" canlı bir sülüğün devinimini bir kişisel bilgisayarla denetleyerek kanıtladılar. Benzer bir teknoloji de, sülüğün nöronların bağlantılarını yeniden yaparak, basit mantık ve aritmetik problemleri çözmelerine ikna etmek için kullanılmıştır.

Bilim insanları, nöronların yüzeyinde belli noktalara bağlanabilen peptitlerle kaplanan, fotoiletken (ışığa duyarlı) yarı iletken malzemeden oluşan kristaller içeren çok küçük çipler olan "kuantum noktalarıyla" da deneyler yürütüyorlar. Bunlar, invaziv dışsal elektrotların yerine geçerek, araştırmacıların belirli nöronları etkinleştirmek için (örneğin, ilaç gönderimi için) ışığın tam dalga boyunu kullanmalarını sağlayabilir.[23]

Bu tür gelişmeler nöron zedelenmesi ve omurilik sakatlıkları olan insanlardaki kopuk sinir kanallarının yeniden bağlanarak düzeltilmesi umudunu da vermekte. Uzun zamandır, sinirler kullanılmadığında aşındıkları için bu kanalların yeniden oluşturulmasının yalnızca sakatlıkları yeni olan hastalarda etkili olacağına inanılıyordu. Ancak yeni bir keşif, uzun süreli omurilik sakatlıkları olan hastalarda sinir sisteminde kullanılabilecek bir protez sisteminin olabilirliğini göstermektedir. Utah Üniversitesi araştırmacıları, iki kolu ve iki bacağı uzun süredir felç olan bir grup hastadan uzuvlarını çeşitli biçimlerde oynatmalarını isteyerek, beynin bu sırada verdiği tepkiyi manyetik rezonans görüntüleme yöntemiyle izlediler. Kol ve bacaklarına giden sinir kanallarının yıllardır iş görmemelerine karşın, hastalar bu uzuvlarını hareket ettirmeye çalıştıklarında beyin etkinliklerinin örüntülerinin herhangi bir sakatlığı olmayan kişilerin örüntülerine çok yakın olduğu gözlendi.[24]

Felçli kişilerin de beyinlerine, hedeflenen devinimlere ilişkin beyin örüntülerini tanımak üzere programlanmış algılayıcılar

---

23 *Bkz.* R. Colin Johnson, "Scientists Activate Neurons with Quantum Dots," *EE Times*, 4 Aralık 2001, http://www.eetimes.com/story/OEG20011204S0068. Kuantum noktaları görüntüleme için de kullanılabilir; *bkz.* M. Dahan vd, "Diffusion Dynamics of Glycine Receptors Revealed by Single–Quantum Dot Tracking," *Science* 302.5644 (17 Ekim 2003): 442–445; J. K. Jaiswal ve S. M. Simon, "Potentials and Pitfalls of Fluorescent Quantum Dots for Biological Imaging," *Trends in Cell Biology* 14.9 (Eylül 2004): 497–504.

24 S. Shoham vd, "Motor-Cortical Activity in Tetraplegics," *Nature* 413.6858 (25 Ekim 2001): 793. Utah Üniversitesi haber bülteni için *bkz.* "An Early Step Toward Helping the Paralyzed Walk," 24 Ekim 2001, http://www.utah. edu/news/releases/01/oct/spinal.html.

yerleştirilip, kas eylemleri uygun sıralamayla uyarılabilecektir. Kasları artık çalışmayan hastalar için, genişleyip kasılarak hasarlı kasların yerine geçen ve gerçek ya da yapay sinirlerle etkinleştirilebilen "nanoelektromekanik" sistemler (NEMS) çoktan tasarlandı.

Siborglaşıyoruz. İnsan bedeninin 2.0 sürümü senaryosu, teknolojimizle giderek yakınlaştığımız, çok eski bir eğilimin devamını temsil etmektedir. Bilgisayarlar önce büyük, erişilmeyen havalandırmalı odalarda, beyaz önlüklü teknisyenlerin ilgilendiği makineler olarak ortaya çıktı. Sonra masalarımıza taşındı, sonra kollarımızın altına, şimdi de ceplerimize girdi. Yakında bedenlerimizin, beyinlerimizin içine yerleştireceğiz. 2030'lara geldiğimizde, biyolojik olmayan yanlarımız biyolojik olanlardan fazla olacaktır. Üçüncü bölümde irdelediğim gibi, 2040'lara geldiğimizde biyolojik olmayan zekâ, bizim biyolojik zekâmızdan milyarlarca kat daha yetenekli olacaktır.

Ciddi hastalık ve sakatlıkların yenilmesinin getirdiği yararların zorlamaları bu teknolojilerin hızlı kulvarda kalmasını sağlayacaktır. Bununla birlikte, tıp uygulamaları bu teknolojilerin yalnızca ilk benimsenme evrelerini temsil etmektedir. Teknolojiler yerleştikçe, bunları, insan potansiyelinin çok büyük çaplarda artması için kullanmanın önünde hiçbir engel bulunmayacaktır.

Kısa süre önce Stephen Hawking, Alman *Focus* dergisine, bilgisayar zekâsının birkaç on yıl içinde insan zekâsının ilerisine geçeceğini söyledi. Hawking, "Bilgisayarların muhalif tarafta kalmak yerine insan zekâsına katkıda bulunabilmesi için, beyne acilen, doğrudan bağlantı geliştirmemiz gerektiğini" savunmakta.[25] Önerdiği geliştirme programının epeyce yol aldığını bilmek Hawking'i kuşkusuz rahatlatacaktır.

---

25 *Focus* dergisinin yanlış çevirdiği Stephen Hawking'in açıklamaları, Nick Paton Walsh tarafından alıntı olarak verilmektedir: "Alter Our DNA or Robots Will Take Over, Warns Hawking," *Observer*, 2 Eylül 2001, http://observer.guardian.co.uk/uk_news/story/0,6903,545653,00. html. Yaygın olarak kullanılmış olan bu hatalı çeviri, Hawking'in insandan zeki insan makine zekâsının geliştirilmesine karşı uyarılarda bulunduğunu söylüyordu. Gerçekte, Hawking'in savunduğu, biyolojik zekâ ile biyolojik olmayan zekâ arasındaki bağlantıları kapatmak için acele etmemiz gerektiğiydi. Hawking tam sözlerini KurzweilAI.net'e vermiştir ("Hawking Misquoted on Computers Taking Over," 13 Eylül 2001, http://www.KurzweilAI.net/news/frame.html?main=-news_single.html?id%3D495).

İnsan bedeninin 2.0 sürümünün çok çeşitli biçimleri olacak, her organ ve beden sistemi, kendi gelişme çizgisini izleyecektir. Biyolojik evrim yalnızca, "bölgesel optimizasyon" denen şeyi yapabilme yeteneğine sahiptir; yani bir tasarımı geliştirebilse de, bunu ancak biyolojinin uzun zaman önce vermiş olduğu tasarım "kararlarının" kısıtlamaları çerçevesinde yapabilmektedir. Örneğin, biyolojik evrim, her şeyi sınırlı bir grup malzemeyle –yani, tek boyutlu amino asit zincirlerinden katlanmış proteinlerle– kurmak üzere sınırlandırılmıştır. Son derece yavaş kimyasal anahtarlamayla çalışan düşünce süreçleriyle (örüntü tanıma, mantıksal çözümleme, beceri oluşumu ve diğer bilişsel beceriler) sınırlandırılmıştır. Biyolojik evrimin kendisi de çok yavaş, yalnızca bu temel kavramları uygulamaya devam eden tasarımları aşamalı olarak iyileştirerek, işlemektedir. Örneğin, bir anda elmassı yapısal malzemeye ya da nanotüp tabanlı mantıksal anahtarlamaya dönüşebilme yeteneği yoktur.

Bununla birlikte, bu içsel sınırlamanın üstesinden gelmenin bir yolu vardır. Biyolojik evrim, düşünen ve çevreyi değiştirebilen bir türü yaratmıştır. Bu tür bugün başarılı bir biçimde kendi tasarımına ulaşmakta –onu iyileştirmekte– ve biyolojinin bu temel ilkelerini yeniden ele alıp değiştirebilmektedir.

İnsan Bedeni Sürüm 3.0. İnsan bedeninin 3.0 sürümünün –2030'larda ve 2040'larda– daha radikal bir tasarım olacağını düşünüyorum. Her alt sistemi yeniden formüle etmek yerine, (düşüncemizin biyolojik olan ve olmayan bölümlerinin birlikte çalışmasıyla) 2.0 sürümünden edindiğimiz deneyimden yola çıkarak bedenlerimizi yeniden biçimlendirme olanağımız olacak. 1.0 sürümünden 2.0 sürümüne geçişte olduğu gibi 3.0 sürümüne geçişimiz de aşamalı olacak ve birbiriyle yarışan çeşitli düşünceleri kapsayacaktır.

3.0 sürümü için tasarımladığım bir özellik, bedenlerimizi değiştirebilme yeteneğidir. Bunu sanal gerçeklik ortamlarında çok kolayca yapabileceğiz (bundan sonraki bölüme bakınız); ama bunu gerçek gerçeklikte de yapabilmenin yöntemlerini de elde edeceğiz. MNT (moleküler nano teknoloji) tabanlı üretimi kendimize yerleştirecek, böylece fiziksel görünüşümüzü isteğimiz zaman, çabucak değiştirebileceğiz.

Beden estetiğinin insan beyni üzerindeki etkilerini düşünürsek, beynimizin büyük bölümü artık biyolojik olmadığında bile insan bedeninin estetik ve duygusal önemini büyük olasılıkla sürdüreceğiz. (Zekâmızın biyolojik olmayan bölümü genişletildiği zaman bile, yine biyolojik insan zekâsından elde edilmiş olacaktır.) Bu, insan bedeni 3.0 sürümünün yine bugünün standartlarına göre insana benzemesi, ama bedenlerimizin kazanacağı büyük esneklikle, güzelliği oluşturan unsurlar hakkındaki düşüncelerimizin de zaman içinde genişlemesi demektir. İnsanlar bugün bile bedenlerini deldirmeye, dövme ya da estetik ameliyatlarıyla bedenlerine yeni eklemeler yapmaya başladılar; bu tür değişiklikler de toplumda giderek daha fazla kabul görüyor. Kolaylıkla geri alınabilecek değişiklikler yapabileceğimiz için, bu alanda çok daha fazla deney yapılması olasıdır.

J. Storrs Hall, çeşitli biçimlerde farklı yapılar oluşturabilecek şekilde bir araya gelip bağlanabilen, daha sonra da bu yapısal düzeni kolaylıkla değiştirebilen, "sisçikler" adını verdiği nanobot tasarımları betimledi. Bunlara "sisçikler" adı verilmesinin nedeni, bir alanda yeterince yoğun olarak bulunduklarında, sesi ve ışığı kontrol altına alarak değişen sesler ve imgeler oluşturabilmeleridir. Temelde, içeriden (sinir sisteminin içinde) değil, dışarıdan (yani fiziksel dünyada) sanal gerçeklik ortamları yaratırlar. İnsan bunları kullanarak bedenini ya da içinde bulunduğu ortamı değiştirebilir; ama sisçikler sesi ve görüntüleri deneteyebildikleri için, bu değişikliklerden bazıları aslında yanılsama olacaktır.[26] Hall'un sisçikleri, sanal gerçeklikteki bedenlerle yarışabilecek güçte, gerçek değişebilir bedenler yaratacak bir kavramsal tasarımdır.

Bill (Bir çevreci): *Şu 2.0 sürümlü insan bedeniyle banyo suyunu dökerken içindeki bebeği de –gerçek anlamıyla– atıvermiyor musun? İnsan bedeni ile beyninin tamamının yerine makinelerin konmasını öneriyorsun. İnsan olan bir şey kalmıyor geriye.*

Ray: *İnsanın tanımında anlaşamıyoruz; peki, çizgiyi nereden çizmemizi önerirsin? İnsanın bedeni ile beyninin biyolojik ya da biyolojik olmayan müdahalelerle genişletilmesi oldukça yeni bir düşünce. Hâlâ acı çeken çok insan var.*

26 *Bkz.* birinci bölüm not 34.

Bill: *İnsanların çektiği acıları dindirmeye hiçbir itirazım yok. Ama insanın performansının ötesine geçebilmek için insan bedeni yerine makineyi koyarsan sonuçta elindeki tabii ki bir makine olur. Karada insandan daha hızlı giden arabalarımız var; ama bunları insan olarak görmüyoruz.*

Ray: *Buradaki sorun büyük ölçüde "makine" sözcüğüyle ilgili. Senin makineden anladığın, bir insana göre çok daha az değer verilen, daha az karmaşık, daha az yaratıcı, daha az zeki, daha az bilgili, daha az incelikleri olan bir şey. Bu, bugünün makineleri için mantıklı; çünkü bugüne kadar karşılaştığımız makinelerin hepsi de –örneğin arabalar– böyle. Benim savımın, gelecek Tekillik devriminin, en önemli noktası, bu makine –biyolojik olmayan zekâ– düşüncesinin, özünde değişeceğidir.*

Bill: *İşte, benim sorunum tam da bu. İnsanlığımız, bir ölçüde sınırlılığımız. Olabilecek en hızlı varlık olduğumuzu, olabilecek en büyük bellek kapasitesine sahip olduğumuzu ve benzeri şeyleri savunmuyoruz. Ama insan olmanın tanımlanamayan, tinsel bir niteliği var ki bir makine doğal olarak buna sahip değildir.*

Ray: *Yeniden sorayım öyleyse, çizgiyi nerede çekiyorsun? İnsanlar zaten bedenlerinin bazı bölümlerini ve beyinlerini, "insan" niteliklerini daha iyi çalıştıran, biyolojik olmayan parçalarla değiştiriyorlar.*

Bill: *Yalnızca hastalıklı ya da sakatlanmış organ ya da sistemlerinin yerine konulduğunda daha iyi. Ama sen, insan yeteneklerini geliştirmek için temelde bütün insanlığımızı değiştiriyorsun, bu da doğası gereği insanca olmaz.*

Ray: *O zaman belki de temel anlaşmazlığımız insan olmanın doğasıyla ilgili. Bence insan olmanın özü –ne kadar fazla olsa da– sınırlarımız değil, sınırlarımızın ötesine ulaşabilme yeteneğimizdir. Yere bağlı kalmadık. Bu gezegene bile bağlı kalmadık. Biyolojimizin getirdiği sınırlarla da zaten, şimdiden, yetinmiyoruz.*

Bill: *Bu teknolojik güçlerimizi çok sakınarak kullanmamız gerekir. Belli bir noktadan sonra, yaşama anlamını veren tarifsiz bir niteliği yitiriyoruz.*

Ray: *Sanırım, insanlığımızda neyin önemli olduğunu anlamamız gerektiği konusunda anlaşıyoruz. Ama sınırlarımızı övmemiz için de hiçbir neden yok.*

İnsan Beyni Üzerinde ...

Gördüğümüz ya da göründüğümüz her şey, bir düş içindeki düşten başka nedir?

—Edgar Allen Poe

Bilgisayar programcısı, yasalarını yalnız kendisinin koyduğu evrenlerin yaratıcısıdır. Ne kadar güçlü olursa olsun hiçbir oyun yazarı, hiçbir yönetmen, hiçbir imparator, bir sahneyi ya da bir savaş alanını düzenlerken ve görevine bu kadar sadık aktörleri ya da birlikleri yönetirken böylesine mutlak bir otoriteden yararlanmamıştır.

—Joseph Weizenbaum

İki keşiş rüzgârlı bir günde rüzgârda dalgalanan bir bayrak hakkında tartışırlar. Birinci keşiş, "Ben bayrağın devindiğini söylüyorum, rüzgârın değil," der. İkinci keşiş, "Ben rüzgârın devindiğini söylüyorum, bayrağın değil," der. Oradan geçmekte olan üçüncü bir keşiş de, "Rüzgâr devinmiyor. Bayrak da devinmiyor. Sizin kafalarınız deviniyor," der.

—Zen öyküsü

Diyelim ki biri, "Bu kelebeği tam da olduğu gibi düşle, yalnız güzel yerine çirkin olsun," desin.

—Ludwig Wittgenstein

2010 Yılı Senaryosu. Gelecek on yılın başlarında piyasaya çıkacak bilgisayarlar temelde görünmez olacaktır: Giysilerimizin dokusunda, mobilyalarımızda ve çevremizde gömülü olacaklar. Dünya çapındaki örgüsünün (bağlı bütün aygıtlar iletişim ağı sunucularına dönüşüp, böylelikle çok büyük süper bilgisayarlar ve bellek bankalarını oluşturduklarında, Dünya Çapında Ağın geleceği durum) yüksek hızdaki iletişim ve bilgi işlem kaynaklarını kullanacaklar. İnternete her an çok yüksek bant genişliğiyle kablosuz iletişim bağlantımız olacak. Ekranlar gözlüklerimize, merceklerimize yerleştirilecek, görüntüler doğrudan retinamıza yansıtılacaktır. Savunma Bakanlığı bu çizgideki bir teknolojiyi askerlerin eğitiminde sanal gerçeklik ortamları yaratmak için bugün de

kullanıyor.[27] Ordunun Creative Technologies Enstitüsü tarafından tanıtılan bir üç boyutlu sanal gerçeklik sisteminde, kullanıcının eylemlerine doğru tepkiler veren sanal insanlar yer almakta.

Benzer çok küçük aygıtlar işitsel ortamları da yansıtacaklar. Sesi kulağa yansıtan, giysideki cep telefonları zaten piyasaya çıktı.[28] Kafatasınızı titreştirerek yalnızca sizin duyabileceğiniz müziği çalan MP3 çalıcılar var.[29] Ordu da sesin askerin miğferinden kafatasının içine iletilmesi çalışmasına öncülük etmekte.

Yalnızca belirli bir kişinin duyabileceği biçimde sesi uzaktan yansıtabilen sistemler de var; bu teknoloji, *Azınlık Raporu* adlı filmde, kişiselleştirilmiş konuşan açık hava reklamlarıyla kullanıldı. Hypersonic Sound teknolojisi ile Audio Spotlight sistemleri bunu, sesi belli bir hedefe yönlendirebilen ses ötesi ışınlar üzerinden modüle ederek başarıyorlar. Ses, sesi işitilebilir bir uzaklıkta düzenleyen havayla etkileşime giren ışınlar tarafından üretiliyor. Birkaç ışın demetini bir duvara ya da başka bir yüzeye odaklayarak, yeni bir tür kişiselleştirilmiş, hoparlörsüz çevresel ses sistemi yapmak da mümkün.[30]

Bu kaynaklar, yüksek çözünürlüklü, üç boyutlu görsel–işitsel sanal gerçeklik ortamını herhangi bir anda sağlayacaktır. Gerçek dünyanın üzerini bir tabaka gibi kaplayarak gerçek zamanlı yönlendirme ve açıklamaların verildiği ekranlarla, etkisi artırılmış gerçekliğimiz de olacaktır. Örneğin, retina ekranımız bize, "Bu Dr. John Smith, ABC Enstitüsünün müdürü; onunla altı ay önce XYZ konferansında karşılaştınız" ya da "Bu, Time–Life Binası; toplantı onuncu katta" gibi hatırlatmalarda bulunabilir.

Temelde dünyanın altyazıları olarak yabancı dillerden gerçek zamanlı çeviriler yapılacak ve çevrimiçi bilginin birçok biçimine erişim, günlük işlerimizin bir parçası haline gelecek. Gerçek dün-

27 Bir örnek olan Nomad for Military Applications, Bothell–Washington'da kurulu Microvision tarafından üretilmiştir. *Bkz.* http://www.microvision.com/nomadmilitary/index.html.

28 Olga Kharif, "Your Lapel Is Ringing," *Business Week,* 21 Haziran 2004.

29 Laila Weir, "High–Tech Hearing Bypasses Ears," *Wired News,* 16 Eylül 2004, http://www.wired.com/news/technology/0,1282,64963,00.html?tw=wn_tophead_4.

30 Hypersonic Sound teknolojisi, http://www.atcsd.com/tl_hss.html; Audio Spotlight, http://www.holosonics.com/technology.html.

yanın üzerindeki sanal kişilikler, bilgi edinmemize ve gündelik işlerimizi ve işlemlerimizi yapmamıza yardım edecekler. Bu sanal yardımcılar her zaman bir soru ya da yönlendirme beklemeden, bizim bir bilgiyi bulmaya çabaladığımızı gördüklerinde öne çıkabilecekler. ("Şu robotlu filmde ... prenses, yoksa kraliçe miydi? ... rolünü oynayan kadın oyuncu," kimdi diye düşündüğümüzde sanal yardımcımız, "Natalie Portman, *Yıldız Savaşları* 1, 2, 3'de Kraliçe Amidala'yı oynadı" yanıtını kulağımıza fısıldayacak ya da görsel bakış alanımıza getirecektir.)

2030 Yılı Senaryosu. Nanobot teknolojisi bize, içinde yer alacağımız, üç boyutlu, inandırıcı bir sanal gerçeklik ortamını sağlayacaktır. Nanobotlar, duyularımızdan gelen her nöron bağlantısına çok yakın konumda yerlerini alacaklardır. Nöronlarla her iki yönde iletişim kurabildiği halde bu hücrelerle fiziksel teması gerektirmeyen elektronik aygıtların teknolojisi elimizde bugün de var. Örneğin, Max Planck Enstitüsünden bilim insanları, yakındaki bir nöronun ateşlemesini saptayabilen ya da yakındaki bir nöronun ateşlemesini sağlayabilen veya baskılayabilen "nöron transistörlerini" geliştirdiler.[31] Bu, nöronlarla elektronik tabanlı nöron transistörleri arasında iki yönlü bir iletişim akışı demektir. Yukarıda belirtildiği gibi, kuantum noktaları da nöronlarla elektronik arasında noninvaziv iletişim sağlama yeteneğini gösterdiler.[32]

Gerçek gerçekliği yaşamak istediğimizde nanobotlar yerlerinde (kılcal damarlarda) durup hiçbir şey yapmayacaklar. Sanal gerçekliğe girmek istediğimizde de gerçek duyulardan gelen tüm girdileri baskılayarak yerine sanal ortama uygun sinyalleri ko-

---

31 Phillip F. Schewe ve Ben Stein, *American Institute of Physics Bulletin of Physics News* 236 (7 Ağustos 1995), http://www.aip.org/enews/physnews/1995/physnews.236.htm. *Ayrıca bkz.* R. Weis ve P. Fromherz, "Frequency Dependent Signal–Transfer in Neuron–Transistors," *Physical Review E* 55 (1997): 877–889.

32 *Bkz.* yukarıdaki 18. not. *Ayrıca bkz.* J. O. Winter vd, "Recognition Molecule Directed Interfacing Between Semiconductor Quantum Dots and Nerve Cells," *Advanced Materials* 13 (Kasım 2001): 1673–1677; I. Willner and B. Willner, "Biomaterials Integrated with Electronic Elements: En Route to Bioelectronics," *Trends in Biotechnology* 19 (Haziran 2001): 222–230; Deborah A. Fitzgerald, "Bridging the Gap with Bioelectronics," *Scientist* 16.6 (18 Mart 2002): 38.

yacaklar.[33] Beyniniz bu sinyalleri fiziksel dünyadan geliyormuş gibi algılayacak. Ne de olsa beyin, bedeni doğrudan hissetmez. Dördüncü bölümde irdelediğim gibi, bedenden gelerek –saniyede birkaç yüz megabitten oluşan– dokunma, ısı, asit düzeyleri, yiyeceğin devinimi gibi fiziksel olaylar hakkında bilgi taşıyan girdiler, Lamina 1 nöronlara, oradan arka alt orta çekirdeğe geçer ve korteksin iki insula bölgesine gelir. Bunlar doğru olarak kodlanmışsa –bunun nasıl yapılacağını beyinde ters mühendislik uygulamalarından öğreneceğiz– beyniniz, yapay sinyalleri tıpkı gerçek sinyalleri algıladığı gibi algılayacaktır. Normalde olduğu gibi, kaslarınızın, kol ve bacaklarınızın hareket edip etmeyeceklerine karar verebileceksiniz, ama nanobotlar bu nöronlar arasındaki bağlantıların önünü kesip gerçek uzuvlarınızın devinimini baskılayarak, yerine sanal uzuvlarınızın devinimini sağlayacak, vestibüler sisteminizi uygun biçimde ayarlayarak, sanal ortamda karşılık gelen devinim ve yeniden yönlendirmeyi sağlayacaktır.

Ağ, keşfedilecek birçok sanal ortam sağlayacaktır. Bazıları gerçek mekânların yeniden yaratımı, diğerleri ise fiziksel dünyada karşılığı olmayan düş ürünü ortamlar olacak. Bazıları belki de fizik yasalarına karşı geldikleri için gerçekten de olanaksız olabilecektir. Bu sanal mekânlara giderek, diğer gerçek ve simüle edilmiş (sonunda bu ikisi arasında net bir ayrım tabii ki kalmayacaktır) insanlarla iş görüşmelerinden duyusal birlikteliklere kadar her türlü etkileşime girebileceğiz. "Sanal gerçeklik ortamı tasarımcılığı" yeni bir iş tanımı ve yeni bir sanat türü olarak ortaya çıkacaktır.

Başkası Ol. Sanal gerçeklikte, görünümümüzü değiştirebileceğimiz ve fiilen başka biri olabileceğimiz için tek bir kişilikle kısıtlanmayacağız. Fiziksel bedenimizi (gerçek gerçeklikte) değiştirmeden, bu üç boyutlu sanal ortamlarda yansıtılan bedenimizi kolaylıkla dönüştürebileceğiz. Aynı anda farklı insanlar için farklı bedenler de seçebiliriz. Böylece anne babanız sizi bir kişi olarak görürken kız arkadaşınız sizi başka biri olarak yaşayacaktır. An-

33 Robert Freitas bu senaryonun bir çözümlemesini verir: Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 7.4.5.4, "Cell Message Modification" (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 194–196, http://www. nanomedicine.com/ NMI/7.4.5.4.htm#p5, bölüm 7.4.5.6, "Outmessaging to Neurons," s. 196–197, http://www. nanomedicine.com/NMI/7.4.5.6.htm#p2.

cak, diğer kişi sizin seçiminizi geri çevirip, sizi, sizin kendiniz için seçtiğinizden farklı bir bedende görmeği yeğleyebilir. Farklı insanlar için farklı beden yansımaları seçebilirsiniz: Akıllı amcanız için Ben Franklin, sizi sinir eden iş arkadaşınız için bir palyaço. Romantik çiftler, olmak istedikleri kişilikleri seçebilirler, hatta birbirlerinin yerine geçmek isteyebilirler. Bunların hepsi kolaylıkla değiştirilebilecek kararlar olacaktır.

2001 yılında Monterey'de yapılan TED (teknoloji, eğlence, tasarım) konferansındaki bir sanal gerçeklik gösteriminde kendimi başka bir kişilik olarak yansıtmanın nasıl bir şey olduğunu yaşama fırsatım oldu. Bilgisayar, giysilerimdeki manyetik algılayıcılar sayesinde tüm devinimlerimi izleyebiliyordu. Bilgisayar, çok yüksek hızda canlandırma yöntemiyle, benim devinimimi gerçek zamanlı olarak izleyen bir genç kadının –Ramona– gerçek boyutlarda, neredeyse fotogerçekçi görüntüsünü oluşturdu. Sinyal işleme teknolojisiyle sesim kadın sesine dönüştürülerek, Ramona'nın dudak hareketlerini belirledi. Böylelikle TED konferansının katılımcıları sunumu Ramona'nın kendisi yapıyormuş gibi izlediler.[34]

Kavramı daha iyi tanımlarsak, izleyiciler beni ve Ramona'yı aynı anda, her ikimiz de eşzamanlı olarak tıpatıp aynı biçimde hareket ederken görebiliyorlardı. Sahneye bir orkestra çıktı, ben –Ramona– Jefferson Airplane'in "White Rabbit" adlı şarkısını, bir de orijinal bir şarkı söyledim. O zaman on dört yaşında olan kızım da üzerine yerleştirilmiş manyetik algılayıcılarla bana katıldı, onun dans hareketleri de arkada dans eden bir erkek dansçının devinimine dönüştürüldü; bu dansçı da sanal bir Richard Saul Wurman, yani TED konferansının emprezaryosuydu. Sunumun en beğenilen bölümü, bir hip hop dansçısı olarak tanınmayan Wurman'ın, kızımın adımlarıyla inandırıcı biçimde dans etmesi oldu. İzleyiciler arasında bulunan Warner Bros'un yaratıcı ekibinin yöneticileri daha sonra Al Pacino'nun canlandırdığı karakterin kendini temelde aynı yöntemle Simone adlı kadına dönüştürdüğü *Simone* adlı filmi yaptılar.

34 Ramona projesinin betimlemeleri, TED (teknoloji, eğlence, tasarım) konferansında sunulan sanal gerçeklik sunumunun videoları ve Ramona filminin yapımının perde arkası için *bkz.* "All About Ramona," http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?m=9.

Bu benim için oldukça güçlü ve etkileyici bir deneyimdi. "Siber aynaya" (bana izleyicinin gördüğü şeyi gösteren) baktığımda, kendimi genellikle aynada gördüğüm kişi yerine Ramona olarak gördüm. Kendimi bir başkasına dönüştürmenin duygusal etkisini –yalnızca fikir düzeyinde düşüncesini değil– yaşadım.

İnsanların kimlikleri çoğunlukla, bedenlerine çok bağlıdır ("Büyük burnu olan biriyim," "sıskayım," "iri bir adamım" ve benzeri). Başka birisi olma olanağını özgürleştirici buldum. Hepimizin dışa vurabileceğimiz farklı kişilikleri vardır ama elimizde bunları kolaylıkla ifade etmenin yöntemleri olmadığından, bunları genellikle baskılarız. Bugün, farklı ilişkilere ve durumlara göre kim olduğumuzu değiştirmek için elimizdeki teknoloji –moda, makyaj, saç biçimi gibi– çok sınırlıdır, ama geleceğin üç boyutlu sanal gerçeklik ortamlarında kişilik paletimiz büyük ölçüde genişleyecektir.

Bütün duyuları kuşatmanın yanında, paylaşılan bu ortamlar duygusal katmanlar içerebilecektir. Nanobotlar, duyguların, cinsel hazzın ve duyusal deneyimimiz ile zihinsel tepkilerimizin diğer türevlerinin nörolojik bağlantılarını üretebilecekler. Açık beyin ameliyatı sırasında yapılan deneyler beyindeki belirli noktaların uyarılmasının duygusal deneyimi tetikleyebildiğini göstermiştir (*The Age of Spiritual Machines*'de anlattığım, beyninin belirli bir bölgesi uyarıldığında her şeyi komik bulan kız gibi).[35] Kimi duygular ve ikincil tepkiler için belirli bir nöronun uyarılması değil, beyinde bir etkinlik örüntüsünün oluşması gereklidir. Geniş alana yayılmış nanobotlarla bu örüntülerin uyarılması da mümkün olacaktır.

Deneyim Projektörleri. "Deneyim projektörleri," duyusal deneyimlerinin tüm akışını, aynı zamanda duygusal tepkilerinin nörolojik bağlantılarını ağa gönderecekler; tıpkı bugün insanların yatak odası görüntülerini internet kameralarından gönderdikleri gibi. Başka birinin duyusal–duygusal yansımasına bağlanıp, *John Malkovich Olmak* filminin önerdiği tarzda, o insanın yerinde ol-

35 I. Fried vd, "Electric Current Stimulates Laughter," *Nature* 391.6668 (12 Şubat 1998): 650. *Bkz*. Ray Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines* (New York: Viking, 1999).

manın nasıl bir şey olduğunu görmek, popüler eğlence biçimlerinden biri haline gelecektir. Sanal deneyim tasarımının yeni bir sanat formuna dönüşmesiyle ayrıca, arasından seçim yapılabilecek büyük bir deneyim arşivi de olacaktır.

Zihnini Genişlet. 2030'ların nanobotlarının en önemli uygulaması, biyolojik zekâ ile biyolojik olmayan zekânın birleşmesi yoluyla akıllarımızın genişletilmesi olacak. Yüz trilyon çok yavaş nöron bağlantımızın, nano robot iletişimi sayesinde yüksek hızlı sanal bağlantılarla büyütülmesi ilk aşama olacaktır.[36] Bu bize örüntü tanıma yeteneklerimizi, belleğimizi ve genel olarak düşünme kapasitemizi çok büyük ölçüde geliştirme olanağının yanı sıra, biyolojik olmayan zekânın güçlü biçimleriyle doğrudan bağlantı veren arabirimi sağlayacaktır. Bu teknoloji, bir beyinden diğerine kablosuz iletişimi de sağlayacaktır.

Yirmi birinci yüzyılın birinci yarısına gelmeden çok önce biyolojik olmayan altkatmanlarla düşünmenin ağır basacağını belirtmeliyiz. Üçüncü bölümde incelediğim gibi, insanın biyolojik düşünme kapasitesi, (beyin bölgelerinin nöromorfik modellerine dayanarak) her insan beyni için saniyede 10^{16} işlem (10^{16} cps), tüm insan beyinleri için 10^{26} cps'dir. Biyomühendisliğin genomumuzda yapacağı düzeltmelere karşın bu rakamlar yine de büyük oranlarda değişmeyecektir. Buna karşın, biyolojik olmayan zekânın işleme kapasitesi üstel hızla (oranın kendisi de artarak) gelişmektedir, 2040'ların ortalarına gelindiğinde de biyolojik zekânın çok ilerisine geçmiş olacaktır.

O zaman geldiğinde, yalnızca bir biyolojik beyindeki nanobotlar paradigmasının da çok ötesine geçmiş olacağız. Biyolojik olmayan beyin milyarlarca kez daha güçlü olacak, dolayısıyla ağır basacaktır. İnsan bedenlerimizin 3.0 sürümünü kullanacağız; bu sürümün bedeni de isteğimiz zaman değişip sonra eski durumuna gelebilecektir. Bu yüzyılın ikinci on yılında üç boyutlu görsel işitsel sanal ortamlarda; 2020'lerde bütün duyuları bir araya getiren üç boyutlu sanal gerçeklik ortamlarında; 2040'larda ise gerçek

36 Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt 1, *Basic Capabilities*, bölüm 7.3, "Communication Networks" (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 186–188, http://www.nanomedicine.com/NMI/7.3.htm.

gerçeklik ortamlarında bedenlerimizi kolaylıkla değiştiriverebileceğiz.

Bütünüyle insan–makine uygarlığından türemiş olduğu ve en azından kısmen, insan zekâsı üzerindeki ters mühendislik uygulamalarına dayandığı için, biyolojik olmayan beynin de yine insana ait olduğu düşünülmelidir. Bu önemli felsefi konuyu sonraki bölümde ele alacağım. Zekânın bu iki dünyasının birleşmesi, yalnızca biyolojik olan ve biyolojik olmayan düşünme ortamlarının basit biçimde birleşmesi değil, daha önemli, yani düşünmenin yönteminin ve düzenlenişinin, sanal olarak tasarımlanabilen tüm biçimlerde aklımızı genişletebilen bir birleşmesi olacaktır.

Bugün beyinlerimiz görece sabit bir tasarıma sahiptir. Öğrenme sürecinin olağan bir parçası olarak, nöronlar arasındaki bağlantı örüntüleri ile yoğunlaşmış nöro-ileticiler ekliyor olsak da, insan beyninin şu andaki genel kapasitesi çok kısıtlıdır. 2030'ların sonunda düşüncemizin biyolojik olmayan bölümü egemen olmaya başladığında, beynin nöron bölgelerinin temel mimarisinin ilerisine geçebileceğiz. Beyin implantları yoğun olarak dağıtılan zeki nanobotlar sayesinde belleğimizi büyük oranda geliştirecek, diğer yöntemlerle de tüm duyu, örüntü tanıma ve bilişsel yeteneklerimizi geliştirecektir. Nanobotlar birbirleriyle iletişim kurabilecekleri için, her tür yeni nöron bağlantısı grubunu oluşturabilecek, var olan bağlantıları (nöronun ateşlemesini baskılayarak) kesebilecek, yeni melez biyolojik ve biyolojik olmayan ağlar oluşturabilecek, bütünüyle biyolojik olmayan bir ağı ekleyebilecek, ayrıca yeni biyolojik olmayan zekâ biçimleriyle yakın arabirimler oluşturabilecektir.

Nanobotların beyin genişleticiler olarak kullanılması, günümüzün cerrahi işlemle yerleştirilen nöron implantlarına kıyasla önemli bir gelişme olacaktır. Nanobotlar beyne ameliyatsız, kan yoluyla yerleştirilecek, gerekirse de bütün nanobotlar dışarı çıkmaya yönlendirilecektir; yani işlem, kolayca geri alınabilen bir işlemdir. Nanobotlar programlanabilir; bir dakika sanal gerçeklik oluştururken ertesi dakika beyni çeşitli biçimlerde genişletebilirler. Yapılanmalarını ve yazılımlarını değiştirebilirler. Belki de en önemlisi, yaygın olarak dağılırlar, böylece beyinde milyarlarca noktaya ulaşabilirler. Oysaki cerrahi işlemle yerleştirilen bir implant bir, en fazla birkaç noktaya yerleştirilebilir.

Molly 2004: *Üç boyutlu sanal gerçeklik pek çekici gelmiyor. Demek istediğim, bütün o nanobotlar küçük böcekler gibi kafamın içinde koşuştururken...*

Ray: *Onları beynindeki nöronları ya da sindirim kanalındaki bakterileri hissettiğinden daha fazla hissetmeyeceksin.*

Molly 2004: *Aslında onları hissediyorum. Şimdi arkadaşlarımla fiziksel olarak bir araya gelerek o üç boyutlu ortamı yaşıyorum zaten.*

Sigmund Freud: *Hmmm, ben gençken telefon için böyle demişlerdi. İnsanlar, "Bir araya gelip konuşabilecekken neden yüzlerce kilometre uzaktan konuşalım ki?" diyorlardı.*

Ray: *Aynen, telefon, işitsel sanal gerçeklik. Yani üç boyutlu sanal gerçeklik temelde bütün bedeni içine alan bir telefon. İstediğin kişiyle istediğin zaman bir araya gelir, ama konuşmaktan fazlasını yapabilirsin.*

George 2048: *Seks çalışanları için bulunmaz bir nimet oldu bu; evlerinden çıkmalarına gerek kalmadı. Anlamlı bir sınır çizmek o kadar olanaksızlaştı ki 2033'te yetkililerin sanal fahişeliği yasallaştırmak dışında bir seçenekleri kalmadı.*

Molly 2004: *Çok ilginç ama pek hoş değil.*

George 2048: *Evet ama en beğendiğin yıldızla birlikte olabileceğini düşün.*

Molly 2004: *İstediğim zaman bunu hayalimde yapabiliyorum zaten.*

Ray: *Hayal kurmak güzeldir ama gerçek olan –ya da aslında sanal olan– çok daha fazlasıdır, eh, gerçektir.*

Molly 2004: *Peki ya "en beğendiğim" yıldız müsait değilse?*

Ray: *2029 dolaylarındaki sanal gerçekliğin bir avantajı da bu; milyonlarca yapay insan seçeneğin var.*

Molly 2104: *2004 yılında olduğunu anlıyorum, ama bu terminolojiyi 2052 yılında Biyolojik Olmayan İnsanlar Yasasının kabul edilmesiyle, kullanımdan hemen hemen kaldırdık. Demek istediğim, çok daha ... gerçeğiz, mmm, dur başka bir şekilde anlatayım.*

Molly 2004: *Evet belki de öyle yapmalısın.*

Molly 2104: *Diyelim ki belirgin biyolojik yapılar olmasanız da...*

Molly 2004: *...tutkulu olabiliriz?*

Molly 2104: *Sanırım anladın.*

Timothy Leary: *Ya kötü bir deneyim yaşarsan?*

Ray: *Yani sanal gerçeklik deneyiminde ters giden bir şeyler olursa mı?*

Timothy: *Aynen.*

Ray: *Ayrılabilirsin. Bu telefonu kapatmak gibi bir şey.*

Molly 2004: *Yazılımın denetiminin hâlâ sende olduğunu varsayarsak.*

Ray: *Evet o konuyla ilgilenmemiz gerekiyor.*

Sigmund: *Burada gerçek bir terapi potansiyeli görüyorum.*

Ray: *Evet, sanal gerçeklikte kim olmak istiyorsan onu olabilirsin.*

Sigmund: *Mükemmel, baskılanmış arzuları dışa vurma fırsatı...*

Ray: *Yalnızca istediğinle birlikte olmak değil, o kişi olma fırsatı.*

Sigmund: *Aynen. Libidomuzun nesnelerini zaten bilinçaltımızda yaratırız. Bir düşün, eşlerden her ikisi de cinsiyetini değiştirebilir. Her biri diğerinin yerine geçebilir.*

Molly 2004: *Terapiye ara vermek için, sanırım?*

Sigmund: *Tabii ki. Bunu yalnızca benim yakın gözetimim altında önerebilirim.*

Molly 2004: *Doğal olarak.*

Molly 2104: *Hey, George, Allen Kurzweil'ın romanında her birimizin aynı anda diğer cinsten karakterlere dönüştüğümüz zamanı anımsıyor musun?*[37]

George 2048: *Ah, seni o on sekizinci yüzyıl mucidi, hani şu erotik cep saatlerini bulan mucit karakteri olduğunda çok beğenmiştim!*

Molly 2004: *Peki, şu sanal cinsellik konusunu bana bir daha anlatın. Tam olarak nasıl işliyor?*

Ray: *Sanal, simüle edilmiş bedenini kullanıyorsun. Sinir sisteminin içinde ve çevresindeki nanobotlar bütün duyuları için uygun biçimde kodlanmış sinyalleri üretiyorlar: görme, işitme, tabii ki dokunma, hatta koku alma. Beynin açısından bu gerçek; çünkü bu sinyaller tıpkı gerçek deneyim sırasında duyularının ürettikleri kadar gerçek. Senin seçmiş olduğun ortama bağlı olsa da, sanal gerçeklikteki simülasyon genellikle fizik kurallarına uyar. Oraya başka birisi ya da birileriyle gidersen, o zaman biyolojik bedenleri olan kişiler olsun ya da olmasınlar, bu sanal ortamda bu diğer zekâların da bedenleri olacak. Sanal gerçeklikteki bedeninin gerçek gerçeklikteki bedeninle aynı olması gerekmez. Sanal gerçeklikte senin kendin için seçtiğin beden,*

37 Allen Kurzweil, *The Grand Complication: A Novel* (New York: Hyperion, 2002); Allen Kurzweil, *A Case of Curiosities* (New York: Harvest Books, 2001). Allen Kurzweil kuzenimdir.

eşinin o anda senin için seçtiği bedenden farklı olabilir. Sanal ortamı, sanal bedenleri ve bunlarla bağlantılı nöron sinyallerini oluşturan bilgisayarlar, eylemlerinizin diğer kişinin sanal deneyimini etkilemesi ya da onların eylemlerinin senin sanal deneyimini etkilemesi için aralarında işbirliği yaparlar.

Molly 2004: *Öyleyse, aslında, yani, birisiyle beraber olmasam da o cinsel zevki yaşayacağım, öyle mi?*

Ray: *Eh, birisiyle olacaksın ama gerçek gerçeklikte değil; tabii, o kişi de gerçek gerçeklikte var olmayabilir. Cinsel haz doğrudan bir duyusal deneyim değil, duygularla ilişkili. Senin hareket ve düşüncene yansıtılan, beyninde üretilen bir duygu, tıpkı mizah ya da öfke gibi.*

Molly 2004: *O sözünü ettiğin, cerrahlar beynindeki belirli bir noktayı uyardığında her şeyi çok komik bulan kız gibi mi?*

Ray: *Aynen. Bütün deneyimlerimizin, duyu ve duygularımızın nörolojik karşılığı vardır. Bunlardan bazıları bölgeseldir, bazıları da bir etkinliğin örüntüsünü yansıtır. Her iki durumda da duygusal tepkilerimizi sanal gerçeklik deneyimlerimizin bir parçası olarak biçimlendirip geliştirebileceğiz.*

Molly 2004: *Bu gayet iyi olabilir. Sanırım ben romantik boşluklarımda komiklik tepkilerimi geliştireceğim. Bu iyi gelir. Belki de saçma tepkilerimi geliştiririm; bu da hoşuma giderdi.*

Ned Ludd: *Bu işin kontrolden çıktığını görebiliyorum. İnsanlar zamanlarının çoğunu sanal gerçeklikte geçirmeye başlayacak.*

Molly 2004: *Sanırım on yaşındaki yeğenim video oyunlarıyla daha şimdiden orada.*

Ray: *Henüz ortama tam olarak girmediler.*

Molly 2004: *Doğru. Onun bizi fark ettiğinden emin değilsem de biz onu görebiliyoruz. Ama oyunlarının üç boyutlu olduğu noktaya gelince onu hiç göremeyeceğiz.*

George 2048: *2004'ün dar sanal dünyalarıyla düşünüyorsan, kaygını anlayabiliyorum, ama 2048'deki sanal dünyalarımızla bu bir sorun değil. Gerçek dünyadan çok daha inandırıcılar.*

Molly 2004: *Evet tabii, sen hiç gerçek gerçeklikte var olmadın, nasıl bilebilirsin ki?*

George 2048: *Hakkında çok şey duydum. Her durumda simüle de edebilirim.*

Molly 2104: *Ne zaman istersem gerçek bir bedene sahip olabiliyorum, gerçekten sorun değil. Biyolojik bir bedene bağımlı olmak bir yana, belirli tek bir bedene de bağımlı olmamanın oldukça özgürleştirici olduğunu söylemeliyim. Bütün o sonsuz sınır ve yükleriyle bir bedene bağlı olduğunu düşünebiliyor musun?*

Molly 2004: *Evet, senin neden böyle düşündüğünü anlayabiliyorum.*

İnsanın Ömrü Üzerinde ...

Dikkat edilmesi gereken şeylerden biri, bütün biyolojik bilimlerde ölümün zorunluluğuna dair bir ipucu bulunmamasıdır. Sonsuz devinim oluşturmak derseniz, fizik araştırmalarında bunun ya kesinlikle olanaksız olduğunu ya da yasaların hatalı olduğunu görecek kadar çok yasa keşfetmişizdir. Ama biyoloji alanında bugüne kadar ölümün kaçınılmazlığını belirten hiçbir şey bulunmadı. Bu bana ölümün hiç de kaçınılmaz olmadığı, biyologların bize bu sorunu yaşatan şeyin ne olduğunu bulmalarının, böylece bu korkunç evrensel hastalığına ya da insan bedeninin geçiciliğine çözüm getirilmesinin an meselesi olduğu izlenimini veriyor.

—Richard Feynman

Asla pes etmeyin, asla pes etmeyin, asla, asla, asla –hiçbir konuda, ne büyük ne küçük, ne az ne çok– asla pes etmeyin.

—Winston Churchill

Önce ölümsüzlük! Başka her şey bekleyebilir.

—Corwyn Prater

İstek dışı ölüm biyolojik evrimin temel bir taşıdır ama bu onu iyi bir şey yapmaz.

—Michael Anissimov

Bundan 200 yıl önce yaşayan ve daha iyi sağlık koşullarının bebek ölümlerinin nasıl büyük oranda azaltacağını anlamış bir bilim adamı olduğunuzu varsayalım. Diyelim, bu konuda bir konuşma yapıyorsunuz ve salonun arkalarından

birisi kalkıp, "Bir dakika, bunu yaparsak nüfus patlaması olur!" diyor. Bunu, "Hayır, sorun olmaz çünkü cinsel ilişki sırasında hepimiz şu komik lastik şeyleri kullanacağız," diye yanıtladığınızda sizi kimse ciddiye almazdı. Tam da bu oldu; engelleyici doğum kontrolü [bebek ölümlerinde düşüşle aynı dönemde] yaygın olarak benimsendi.

—Aubrey de Grey, yaşlılık bilimcisi

Ölmek gibi bir görevimiz var.

—Dick Lamm, Colorado Eski Valisi

Bazılarımız bunun üzücü olduğunu düşünüyor.

—Bertrand Russel, 1955, Her gün yaklaşık yüz bin kişinin yaşa bağlı nedenlerle öldüğünü belirten istatistik hakkında yorumu[38]

İnsanı üreten süreç olan evrimin tek bir hedefi vardır: Kendi kopyalarını yaratma yeteneği yüksek gen makinelerini üretmek. Geriye dönüp baktığımızda yaşam gibi karmaşık yapıların böylesi zeki olmayan bir evrende ortaya çıkabilmiş olmasının tek yolu budur. Ama bu hedef bazen insanlık çıkarlarıyla çatışır, ölüm, acı ve kısa yaşam sürelerine neden olur. İnsanlığın geçmişteki ilerlemesi, evrimin kısıtlamalarının kırılmasının tarihidir.

—Michael Anissimov

Bu kitabın okurlarının çoğu, büyük olasılıkla Tekilliği görecek kadar yaşayacaktır. Bundan önceki bölümde ele aldığımız gibi, biyoteknoloji alanında ivmelenerek yaşanan gelişmeler, genlerimizi ve metabolik süreçlerimizi yeniden programlayıp, hastalık ve yaşlanma süreçlerini durdurmamızı sağlayacaktır. Bu ilerleme, genom biliminde (genlerin etkilenmesi), proteom biliminde (proteinlerin rollerinin analizi ve etkilenmesi), gen terapisi (RNA engellemesi gibi yöntemlerle gen ekspresyonunun baskılanarak,

---

38 Aubrey de Grey, "Engineering Negligible Senescence: Rational Design of Feasible, Comprehensive Rejuvenation Biotechnology" içinde verilen alıntı, Kronos Enstitüsü Seminer Dizisi, 8 Şubat 2002. PowerPoint sunumu şu adreste bulunmaktadır: http://www.gen.cam.ac.uk/sens/sensov.ppt.

çekirdeğe yeni genlerin yerleştirilmesi), rasyonel ilaç tasarımı (hastalık ve yaşlanma süreçlerinde kesin belirlenmiş değişimleri hedefleyen ilaçların formüle edilmesi), kendi hücrelerimizin, dokularımızın, organlarımızın gençleştirilmiş (telomeri uzatılmış ve DNA'sı düzeltilmiş) biçimlerinin sağaltım amaçlı klonlanması ve ilgili diğer gelişmeleri kapsayacaktır.



Biyoteknoloji, biyolojiyi geliştirerek, bilinen kusurlarını düzeltecektir. Nano teknolojinin biyoteknolojiyle örtüşen devrimi, biyolojinin katı sınırlamalarının ötesine genişlememizi sağlayacaktır. *Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever* adlı kitabımızda Terry Grossmann"la belirttiğimiz gibi, her birimizin beden ve beyin olarak adlandırdığı "evi" süresiz olarak koruyup uzatacak bilgi ve araçları hızla elde ediyoruz. Ne yazık ki nüfus patlaması yıllarında doğan akranlarımızın büyük çoğunluğu *–eğer* agresif biçimde, temelde sağlıklı yaşam olarak düşünülen yaşam tarzının ilerisine geçerek davranırlarsa– bizden önceki kuşaklar gibi acı çekip, yaşamın "normal" akışı içinde ölmeleri gerekmediğinin farkında değiller (*bkz.* "Kaynaklar ve İletişim Bilgisi," s. 463).

Tarihsel olarak, insanların sınırlı biyolojik yaşam süresinden uzun yaşayabilmelerinin tek yolu, değerlerini, inançlarını ve bilgilerini sonraki kuşaklara aktarmak olmuştur. Artık, varoluşumuzun temelini oluşturan örüntüleri sürdürebilme yöntemlerinde bir paradigma değişimine doğru ilerliyoruz. İnsanın ortalama yaşam süresi düzenli olarak artmaktadır, artık yaşamın ve hastalıkların temelini oluşturan bilgi süreçleri üzerindeki ters mühendislik uygulamalarının erken evrelerine gelmiş olduğumuz için de büyük bir ivmeyle hızlanacaktır. Robert Freitas, tıbbın önleyebileceği hastalıkların yüzde 50'sinin oluşturduğu belirli bir listenin ortadan kaldırılmasıyla, insanın yaşam süresinin 150 yılın üzerine uzayacağını öngörmektedir.[39] Tıbbi sorunların yüzde 90'ının önlenmesiyle de, yaşam beklentisi beş yüz yılın üzerine çıkacaktır. Yüzde 99'a ulaşıldığında, bin yılın üzerine çıkabileceğiz. Biyoteknoloji ve nano teknoloji devrimlerinin tam sonuçlarının alınması da ölümün hemen hemen tüm tıbbi nedenlerini ortadan kaldırmamızı sağlayacaktır. Biyolojik olmayan bir varoluş biçimine doğru yol aldıkça, kendimizi "yedeklemenin" (bilgimizin, becerilerimizin ve kişiliğimizin temelini oluşturan başlıca örüntülerin saklanmasının) yollarını elde edecek, böylelikle, bildiğimiz biçimiyle ölümün çoğu nedenini de ortadan kaldıracağız.

---

39 Robert A. Freitas Jr., "Death Is an Outrage!" Yaşamın Uç Noktada Uzatılması başlıklı Beşinci Alcor Konferansında sunulmuştur, Newport Beach, California, 16 Kasım 2002, http://www.rfreitas.com/Nano/DeathIsAnOutrage.htm, KurzweilAI.net'te yayımlanmıştır, 9 Ocak 2003: http://www.KurzweilAI.net/articles/art0536.html.

Yaşam Beklentisi (Yıl)[46]

Cro–Magnon dönem	18
Eski Mısır	25
1400, Avrupa	30
1800, Avrupa ve ABD	37
1900, ABD	48
2002, ABD	78

Biyolojik Olmayan Deneyime Dönüşüm

Kapasitesi hep aynı kalan akıl sonsuza kadar yaşayamaz; birkaç bin yıl sonra bir insandan çok bir bandın yinelenen döngüsüne benzeyecektir. Süresiz uzun yaşamak için önce aklın büyümesi gerekir ... yeterince büyüyüp, dönüp arkasına bakınca da ... başlangıçta sahip olduğu canla hangi ortak duygulara sahip olabilir ki? Geliştiği varlık, ilk varlığının sahip olduğu her şeyi ve çok daha fazlasını barındırır.

—Vernor Vinge

Geleceğin imparatorlukları aklın imparatorluklarıdır.

—Winston Churchill

Beyne bilgi yükleme konusunu dördüncü bölümde açıkladım. Beyne doğrudan bağlantı senaryosu, insan beyninin, başlıca *bütün*

40 Kromanyon dönem, "30 yıl ya da daha kısa, çoğu zaman çok daha kısa ...": http://anthro.palomar.edu/homo2/sapiens_culture.htm.
Mısır: Jac J. Janssen'den alıntı: Brett Palmer, "Playing the Numbers Game," *Skeptical Review*, 5 Mayıs 2004'te çevrimiçi yayımlanmıştır: http://www.theskepticalreview.com/palmer/ numbers.html.
Avrupa 1400: Gregory Clark, *The Conquest of Nature: A Brief Economic History of the World* (Princeton Üniversitesi Yayınları, yayımlanacak, 2005), 5. bölüm, "Mortality in the Malthusian Era," http://www.econ.ucdavis.edu/faculty/gclark/GlobalHistory/Global%20History-5.pdf.
1800: James Riley, *Rising Life Expectancy: A Global History* (Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2001), s. 32–33.
1900: http://www.cdc.gov/nchs/data/hus/tables/2003/03hus027.pdf.

ayrıntılarının yakalanarak (büyük olasılıkla içinden) taranmasını ve beynin farklı –büyük olasılıkla çok daha güçlü– bir bilgi işlem katmanında yeniden kurulmasını gerektirir. Bu yöntem, büyük olasılıkla 2030'ların sonlarında uygulanabilir olacak ve uygulanacaktır. Ancak biyolojik olmayan deneyimin oluşmasına doğru gidişin, zihnimde canlandırdığım esas yolu bu değildir. Bu, tüm diğer paradigma değişimleriyle aynı yolu izleyecektir: Aşama aşama (ancak ivmelenen bir hızla).

Yukarıda belirttiğim gibi, biyolojik olmayan düşünceye geçiş kaygan bir zeminde olacaktır, fakat zaten üzerinde gitmeye başladığımız bir zemindir bu. Yine insan bedenlerimiz olacak ama bunlar zekâmızın farklı biçimlendirilebilir yansımalarına dönüşecektir. Bir başka deyişle, moleküler nano teknoloji ürünlerini kendimizle bütünleştirmeyi bir kez başardığımızda, kendi isteğimizle farklı bedenler yaratıp, değiştirip, sonra yeniden yaratabileceğiz.

Böylesine temel değişimler başarıldıktan sonra bu başarı bizim sonsuza kadar yaşamamızı sağlayacak mıdır? Yanıtı, "yaşamak" ve "ölmek" tanımlarıyla neyi kastettiğimize bağlıdır. Bugün kişisel bilgisayarımızdaki dosyaları ne yaptığımızı düşünün. Eski bilgisayarımızı bırakıp yenisini aldığımızda bütün dosyalarımızı atmayız. Onun yerine bu dosyaları kopyalayıp, yeni donanıma yükleriz. Yazılımımız varlığını sonsuza kadar sürdürmese de, yaşam süresi temelde, üzerinde çalıştığı donanıma bağımlı ve bağlı değildir.

Şu anda, insan donanımımız bozulduğu zaman, yaşam yazılımımız da –kişisel "beyin dosyamız"– onunla ölür. Ancak, (sinir sistemimiz, endokrin sistemimiz ve akıl dosyamızın kapsadığı diğer yapılarla birlikte) beynimiz olarak adlandırdığımız örüntüde barınan bin kere trilyon bitlik bilgiyi saklayıp, yenilemenin yollarını bulduğumuzda, durum böyle olmayacaktır.

O noktada bir insanın beyin dosyasının ömrü, belirli herhangi bir donanım ortamının varlığını sürdürebilmesine (örneğin, biyolojik bir bedenin ve beynin yaşamını sürdürebilmesine) bağlı olmayacaktır. Sonuçta, yazılım tabanlı insanlar, bugün bildiğimiz anlamdaki insanların tabi oldukları katı sınırların çok ötesine geçmiş olacaklardır. Ağ üzerinde yaşayacaklar, gereksindikleri ya da arzu ettikleri zaman, sanal gerçekliğin farklı bölgelerindeki sanal bedenler, holografik yansımalı bedenler, sisçik yansımalı

bedenler ve nanobot kümeleri ve nano teknolojinin diğer biçimleriyle oluşmuş bedenlerden birini yansıtacaklardır.

Yirmi birinci yüzyılın ortalarına gelindiğinde insanlar düşüncelerini sınırsız biçimde genişletebilecekler. Bu bir ölümsüzlük biçimidir, ancak veri ile bilginin, zorunlu olarak sonsuza kadar kalmayacağını belirtmek önemlidir: Bilginin ömrü, geçerliliğine, yararına ve erişilebilirliğine bağlıdır. Eğer eski, belirsiz formattaki bir veri saklama kaynağından (örneğin, 1970 model bir mini bilgisayarın manyetik bant bobininden) bilgi almayı denediyseniz, yazılımın kullanılabilirliğini korunmasındaki zorlukları biliyorsunuzdur. Bununla birlikte beyin dosyamıza iyi bakmaya gayret eder, sık sık yedekler ve güncel biçem ve ortamlara aktarırsak, en azından yazılım tabanlı insanlar için bir tür ölümsüzlüğü elde etmek mümkündür. Bu yüzyılın sonlarında insanlar, dönemin başında yaşamış insanların en değerli bilgilerini, beyinlerinde ve bedenlerinde taşıdıkları bilgileri yedeklemeden yaşamış olmalarını yadırgayacaklardır.

Bu ölümsüzlük biçimi, bugün bildiğimiz biçimiyle fiziksel insanın sonsuza kadar yaşamasıyla aynı kavram mıdır? Bir anlamda evet, çünkü insanın özü bugün de değişmez bir maddeler topluluğu değildir. Son dönemde yapılan araştırmalar, çok uzun ömürlü olduğu düşünülen nöronlarımızın bile, tübüller gibi, kendilerini oluşturan alt sistemlerinin tümünü birkaç haftada bir değiştirdiğini göstermektedir. Sürekliliği olan yalnızca madde ve enerji örüntümüzdür ve bu bile yavaş yavaş değişmektedir. Benzer biçimde, sürekli olan, gelişen ve yavaş yavaş değişen bir yazılım insan örüntüsü olacaktır.

Ama benim beyin dosyama dayanarak kurulmuş olan, bilgi işlemin çeşitli alt katmanları arasında taşınan ve belirli herhangi bir düşünce ortamından uzun ömürlü olan bu insan, gerçekten ben midir? Bu düşünce bizi yeniden, (sonraki bölümde inceleyeceğimiz) Platon'un diyaloglarından bu yana tartışılmakta olan bilinç ve kimlik sorularına götürür. Yirmi birinci yüzyılın akışı içinde bunlar kibar politik tartışmaların konuları olarak kalmayacak, bunlarla yaşamsal, uygulamaya dönük, politik ve yasal sorunlar olarak yüzleşilecektir.

Konuyla ilgili bir soru: Ölüm arzu edilir midir? Ölümün "kaçınılmazlığı" insan düşüncesine derinden yerleşmiştir. Eğer ölüm

önüne geçilemez gibi görülüyorsa, ölümü zorunluluk olarak rasyonalize etmek, hatta yüceltmek dışında pek fazla seçeneğimiz yoktur. Tekilliğin teknolojisi insanlara daha büyük bir şeye doğru evrilmenin uygulanır ve erişilebilir yollarını sağlayacak, böylelikle ölümü, yaşama anlam kazandırmanın temel aracı olarak rasyonalize etmemize gerek kalmayacaktır.

Bilginin Ömrü

> "Asla," diye sürdürdü Kral, "o anın dehşetini asla unutmayacağım!" "Unutursun, unutursun," dedi Kraliçe, "anılarına geçirmezsen unutursun."
>
> —Lewis Carroll, *Through the Looking Glass**

> Emin olabildiğiniz tek şeyin ölüm ve vergiler olduğu söylenir; ama ölümden o kadar emin olmayın.
>
> —Joseph Strout, Sinirbilimci

> Bilmiyorum efendim, ama ne olarak kullanılırlarsa kullanılsınlar, eminim vergilendirirsiniz.
>
> —Michael Faraday, İngiliz maliyesinin sorduğu, elektromanyetiğin uygulamada ne işe yarayacağı sorusuna yanıtı

> *Girme sessiz sessiz bu iyi geceye.*
> *Işık sönüp giderken kudurmalı öfkeden*
>
> —Dylan Thomas†

Yaşamlarımızı, tarihimizi, düşüncelerimizi ve becerilerimizi bilgiye çevirme olanağı, bilginin ömrünün ne kadar olduğu konusunu gündeme getirir. Bilgi birikimine her zaman çok önem verdim, çocukluğumda da babamdan aldığım bir eğilimle, her tür bilgiyi topladım.

Babam, yetiştirilmesinin etkisiyle, yaşamını belgeleyen tüm resimleri, sesleri saklamayı seven insanlardan biriydi. 1970'te, henüz elli sekiz yaşında zamansız ölümüyle, bugün bile bir hazi-

* *Aynanın İçinden*, çev. Tomris Uyar, Can Çocuk Yayınları, 2012 –çn.

† Bilge Karasu, S. de Beauvoir, *Sessiz Bir Ölüm* içinde –çn.

ne gibi koruduğum arşivi bana miras kaldı. Babamın 1938 yılında Viyana Üniversitesinde verdiği, Brahms'ın müzik terimlerine katkısıyla ilgili özgün fikirlerini içeren doktora tezi hâlâ bendedir. Genç bir delikanlı olarak dağlık Avusturya bölgelerinde verdiği konserlerini öven, albümler dolusu gazete küpürü de var. Kristallnacht ve 1930'ların sonlarında artık bu kaçışı olanaksız kılan Avrupa'daki tarihsel gelişmelerin öncesinde, Hitler'den kaçışlarının sponsorluğunu yapan Amerikalı müziksever koruyucusuyla birbirlerine gönderdikleri acil mektuplar da var. Bunlar, fotoğraflar, vinil ve manyetik bant üzerinde müzik kayıtları, özel mektuplar, hatta eski faturalar gibi sayısız anıyı taşıyan, artık eskimiş düzinelerce kutulardan bazıları.

Babamdan bana kendi yaşamının kayıtlarını saklama merakı da geçtiğinden, babamın kutularının yanı sıra benim kendi kâğıt ve dosyalarımın durduğu daha yüzlerce kutum var. Babamın yalnızca mekanik daktilosu ve karbon kâğıdının sağladığı teknolojiyle desteklenen üretkenliği, benim düşüncelerimi her türden devşirimle yeniden üretebilen bilgisayarlar ve yüksek hızlı yazıcılarla desteklenip yüreklendirilen üretkenliğimle kıyaslanamaz.

Kendi kutularımda, tıkıştırılmış birçok sayısal taşıyıcı ortam da var: Delikli kartlar, kâğıt bant ruloları, sayısal manyetik bantlar ve çeşitli format ve boyutlarda diskler. Bu bilginin nasıl bozulmadan durduğuna çoğu kez şaşarım. Tuhaf olan, bu bilgiye ulaşmanın kolaylığı, o bilgiyi yaratırken kullanılan teknolojinin ilerleme düzeyiyle ters orantılıdır. En kolayı, yaşlanma belirtileri gösterseler bile gayet iyi okunabilen kâğıt belgelerdir. Biraz daha zorluk çıkaranlar vinil plaklar ve analog bant kayıtlarıdır. Bazı temel donanımlar gerekse de bunları bulmak ya da kullanmak zor değildir. Delikli kartlar biraz daha zorlayıcıdır ama yine de delikli kart okuyucularını bulmak mümkündür, formatları da karmaşık değildir.

Açık arayla ulaşılması çok çaba gerektiren bilgi, sayısal disk ve bantlarda bulunan bilgidir. Halledilmesi gereken işleri bir düşünün. Her taşıyıcı ortam için tam olarak hangi disk ya da kaset sürücüsünün, 1960 dolaylarında IBM 1620'nin mi yoksa 1973 dolaylarında Data General Nova I'in mi kullanılmış olduğunu anlamam gerekir. Sonra, gerekli donanımı toparladıktan sonra ilgilenilmesi gereken yazılım katmanları vardır: Doğru işletim sistemi,

disk bilgi sürücüleri ve uygulama programları. Ve her donanım ve yazılım katmanında doğal olarak çok sayıda bulunan o kaçınılmaz sorunlarla karşılaştığımda, yardım için kimi arayabilirim ki? Yardım masaları onlarca yıl önce (eğer var idiyse) kapatılmış olan sistemler bir yana, günümüzün sistemlerini çalıştırmak yeterince zordur. Bilgisayar Tarihi Müzesinde bile sergilenen aygıtların büyük çoğunluğu bundan yıllar önce çalışmaz duruma gelmiştir.[41]

Bütün bu engellerin üstesinden gelebildiğimi varsayarsak, diskler üzerindeki orijinal manyetik verinin büyük olasılıkla bozulmuş olduğunu, eski bilgisayarların da yine birçok hata mesajı vereceğini de hesaba katmam gerekir.[42] Peki bilgi yok mu olmuştur? Yanıt, tamamıyla yok olmadığıdır. Manyetik noktalar orijinal donanım tarafından okunabilir olmasa bile silikleşmiş bölgelerin, yeterince hassas aletlerle, taranan eski kitap sayfaları üzerinde uygulanan görüntü güçlendirme işlemlerine benzer yöntemler kullanılarak düzeltilmesi mümkün olabilir. Ulaşılması zor da olsa bilgi hâlâ oradadır. Yeterince kararlılık ve tarihsel araştırmayla ulaşılması mümkündür. Eğer bu disklerden birinde müthiş değerli sırların olduğuna inanmak için bir nedenimiz varsa, büyük olasılıkla bu bilgiye ulaşmayı başarabiliriz.

Kimse yalnızca geçmişe duyduğu özlemle böylesine zorlu bir işe kalkışma isteği duymayacaktır. Bunu söyleyebiliyorum çünkü bu ikilemi büyük ölçüde öngörerek, bu eski dosyalarımın büyük

41 Önceleri Boston'da bulunan müze bugün Mountain View, California'dadır. (http://www.computerhistory.org).

42 Lyman ve Kahle'den uzun dönemli saklama hakkında: "Kaliteli kâğıt 500 yıl dayanırken bilgisayar bantları 10 yıl dayanmaktadır. Kopya çıkarmakla uğraşan oluşumlar olmakla birlikte, bilgimizi sağlam biçimde saklayacağız, elimizde sayısal malzemenin 500 yıllık kopyalarını yapabilecek etkinlikte mekanizmalar yoktur. ..." Peter Lyman ve Brewster Kahle, "Archiving Digital Cultural Artifacts: Organizing an Agenda for Action," *D–Lib Magazine*, Temmuz–Ağustos 1998.
Stewart Brand şöyle yazar: "Çalışan her yeni sıcak bilgisayar arkasında soyu tükenmiş bilgisayarlar, soyu tükenmiş saklama ortamları, soyu tükenmiş uygulamalar, soyu tükenmiş dosyalardan oluşan yolun izini bırakmaktadır. Bilimkurgu yazarı Bruce Sterling çağımızdan 'çoğu bir kremalı pastanın çalışma ömrüne sahip ölü yöntemlerin Altın Çağı,' diye söz eder." Stewart Brand, "Written on the Wind," *Civilization Magazine*, Kasım 1998 (Long Now terminolojisinde "01998"), şu adreste bulunabilir: http://www.longnow.org/10klibrary/library.htm.

bölümünün yazılı çıktısını aldım. Ama kâğıt üzerine basılı arşivlerin de kendilerine göre sorunları olduğundan, sahip olduğumuz bütün bilgiyi kâğıt üzerinde saklamak da çözüm değildir. Eğer elimde tutuyorsam, kâğıt üzerine yazılmış yüz yıllık bir elyazmasını kolaylıkla okuyabilsem de, basit bir sistemle düzenlenmiş binlerce dosya arasından belli bir dosyayı arayıp bulmak sinir bozucu ve zaman alan bir iş olabilir. Düzinelerce ağır dosya kolisini kaldırırken insanın belini incitmesi riski bir yana, doğru dosyayı bulmak için, bütün bir öğleden sonra çalışmak gerekebilir. Mikrofilm ya da mikrofiş kullanmak bu güçlüğü kısmen hafifletebilir ama doğru belgenin aranması yine söz konusudur.

Bu yüz binlerce kaydı tarayıp devasa bir kişisel veritabanı oluşturmayı düşledim; bu, bana günümüzün güçlü arama–bulma yöntemlerini bu belgeler üzerinde kullanma olanağını verecekti. Bu girişime bir isim bile koydum –DAISI (Document and Image Storage Invention / Belge ve İmge Saklama Tasarımı)– yıllardır da bu konuda epeyce fikir oluşturdum. Bilgisayar alanının öncülerinden Gordon Bell (Digital Equipment Corporation'ın eski başmühendisi), DARPA (ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı), şimdi de Long Now Vakfı da bu sorunu ele alan sistemler üzerinde çalışıyorlar.[43]

DAISI, insanın gözünde oldukça büyüyen bir çalışmayı, tüm bu belgelerin taranıp sabırla kataloglanmasını gerektiriyor. Ama benim DAISI düşümün esas güçlüğü, şaşırtıcı ölçüde büyük bir güçlüktür: Bana arşivimin bundan onlarca yıl sonra da bozulmadan kalacağının ve ulaşılabilirliğinin garantisini verecek doğru donanım ve yazılım katmanlarını nasıl seçebilirim?

Benim arşiv gereksinimim, insan uygarlığının biriktirmekte olduğu, üstel olarak büyüyen bilgi tabanının içinde elbette küçücük bir evrendir. Bizi diğer hayvanlardan ayırt eden, türümü-

43 ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı DARPA'nın Bilgi İşlem Teknolojisi Dairesinin bu yöndeki bir araştırmasının adı LifeLog'dur, http://www.darpa.mil/ipto/Programs/lifelog; *ayrıca bkz.* Noah Shachtman, "A Spy Machine of DARPA's Dreams," *Wired News,* 20 Mayıs 2003, http://www.wired.com/news/business/0,1367,58909,00.html; Gordon Bell'in projesi (Microsoft için) MyLifeBits'dir, http://research.microsoft.com/research/barc/MediaPresence/MyLifeBits.aspx; Long Now Vakfı için *bkz.* http://longnow.org.

zün bu ortak bilgi tabanıdır. Diğer hayvanlar da iletişim kurar ama kendilerinden sonraki kuşaklara aktaracakları, gelişen ve büyüyen bir bilgi tabanı oluşturmazlar. Değerli mirasımızı tıbbi bilişim uzmanı Bryan Bergeron'un "kaybolan mürekkep" diye adlandırdığı şeyle yazıya döktüğümüz için uygarlığımızın bıraktığı miras büyük risk altında olacaktır.[44] Bilgi tabanımızla birlikte, tehlike de üstel olarak büyür gibidir. Bilginin saklanmasında kullandığımız çeşitli donanım ve yazılım katmanlarında yeni standartları benimseme hızımızla sorun daha da kötüleşmektedir.

Beynimizde saklanan değerli bir bilgi havuzu daha vardır. Geçici gibi görünmekle birlikte anı ve becerilerimiz, geniş nöro-iletici yoğunlaşmaları, merkezi bağlantılar ve ilgili diğer sinirsel ayrıntıların örüntülerinde kodlanmış bilgiyi temsil ederler. Bu bilgi, hepsinden değerlidir; ölümün bu kadar trajik olmasının bir nedeni de budur. İşin sonunda, her birimiz, beynimize tıkıştırdığımız trilyonlarca bitlik bilgiye erişebilecek, kalıcı olarak arşivleyebilecek ve bu bilgileri anlayabileceğiz.

Beyinlerimizin başka taşıyıcı ortamlara kopyalanması, bundan sonraki bölümde irdeleyeceğim bazı felsefi sorunları da gündeme getirmektedir; örneğin, "Benim düşünce ve bilgilerimin tamamını bu kadar ustaca bellemiş olan, gerçekten ben miyim yoksa başkası mı?" sorusu gibi. Bu sorunları nasıl çözersek çözelim, beynimizdeki bilgiye ve bilgi süreçlerine hâkim olunması, bizim (ya da en azından bize çok benzer biçimde davranan varlıkların) "sonsuza kadar yaşayabileceğimizi" akla getirmektedir. Ama anlaşılması gereken, gerçekten bu mudur?

Çok uzun zamandır zihinsel yazılımımızın ömrü, acımasız bir biçimde biyolojik donanımımızın yaşamda kalmasına bağlı kaldı. Bilgi süreçlerimizin tüm ayrıntılarının yakalanıp yeniden kurulabilmesi, ölümlülüğümüzün bu iki yönünü gerçekten de birbirinden ayıracaktır. Ama görmüş olduğumuz gibi, yazılımın kendisi mutlaka sonsuza kadar yaşamayacaktır. Eğer başarabilirse çok uzun yaşayacak kadar dayanabilmesinin önünde de çetin engeller vardır.

44 Bergeron, Harvard Tıp Fakültesinde anesteziyoloji doçenti ve *Bioinformatics Computing*, *Biotech Industry: A Global, Economic, and Financing Overview*, *The Wireless Web and Healthcare* gibi kitapların yazarıdır.

Yani, bilgi ister bir kişinin duygusal arşivi, ister insan–makine uygarlığının birikerek büyüyen bilgi tabanı, ister beyinlerimizde saklanmış beyin dosyaları olsun, sonuçta yazılımın yaşamda kalabileceği süre hakkında hangi sonucu çıkarabiliriz? Yanıt yalnızca şudur: *Bilgi, onunla ilgilenen biri olduğu sürece vardır.* Birkaç on yıl üzerinde düşündükten sonra DAISI projemle ilgili olarak vardığım sonuç, saklanan bilginin bundan on yıllar sonra bile (olağanüstü çabalar göstermeden) hâlâ ulaşılabilir olabileceğinin güvencesini verebilecek hiçbir donanım ve yazılım standardının şu anda bulunmadığı, gelecekte de bulunmasının olası olmadığıdır.[45] Arşivimin (ya da herhangi bir diğer bilgi tabanının) varlığını koruyabilmesinin tek yolu, kullanılan sürümün sürekli olarak yükseltilerek en son donanım ve yazılım standartlarına bağlanmasıdır. Kimsenin ilgilenmediği bir arşiv, er ya da geç benim sekiz inçlik PDP–8 disketlerim kadar erişilmez hale gelecektir.

Bilgi, "canlı" kalabilmek için sürekli bakım ve destek gerektirmeye devam edecektir. İster veri olsun ister akıl, bilgi yalnız biz yaşamasını istersek yaşayacaktır. Aynı düşünceyle, yalnızca kendimize baktığımız sürece yaşayabiliriz. Hastalık ve yaşlanmanın kontrolü üzerine bilgimiz öyle bir noktaya ilerlemiştir ki, kendi yaşam sürenizle ilgili *tavrınız,* artık uzun dönemde sağlığınızı etkileyen en önemli eten haline gelmiştir.

Uygarlığımızın bilgi hazinesi yaşamını basitçe kendi kendine sürdürmez. Atalarımızın bize bağışladıkları kültür ve teknoloji mirasını sürekli olarak yeniden keşfedip, yeniden yorumlayıp, yeniden biçimlendirmemiz gerekir. Kimse ilgilenmezse bütün bu bilgiler uçup gidecektir. Bugün fiziksel bağlantılarla çalışan düşüncelerimizi yazılıma aktarmak bize mutlaka ölümsüzlüğü getirmeyecek. Yalnızca, yaşamlarımızın ve düşüncelerimizin kendi simgesel ellerimizde ne kadar kalmasını istediğimizi belirleyebilmenin yollarını açacaktır.

---

45 Long Now Vakfı, olası bir çözümü geliştirmektedir: Rosetta Diski, uzak gelecekte yok olma olasılığı bulunan dillerde kapsamlı bir metin arşivini içerecektir. Vakıf, disk başına 350.000 sayfaya kadar saklayabilen ve tahminen 2000 ile 10.000 yıl arasında ömrü olan iki inçlik nikel diskler kullanan çok ender bir saklama teknolojisinin kullanılmasını planlamaktadır. *Bkz.* Long Now Vakfı, Kütüphane Düşünceleri, http://longnow. org/10klibrary/10kLibConference.htm.

Molly 2004: *Söylemek istediğin benim yalnızca bir dosyadan ibaret olduğum mu?*

Molly 2104: *Statik değil, dinamik bir dosya. Ama "yalnızca" demekle neyi kastediyorsun? Daha önemli ne olabilir?*

Molly 2004: *Ben dosyaları sürekli atarım, dinamik olanları bile.*

Molly 2104: *Bütün dosyalar eşit doğmaz.*

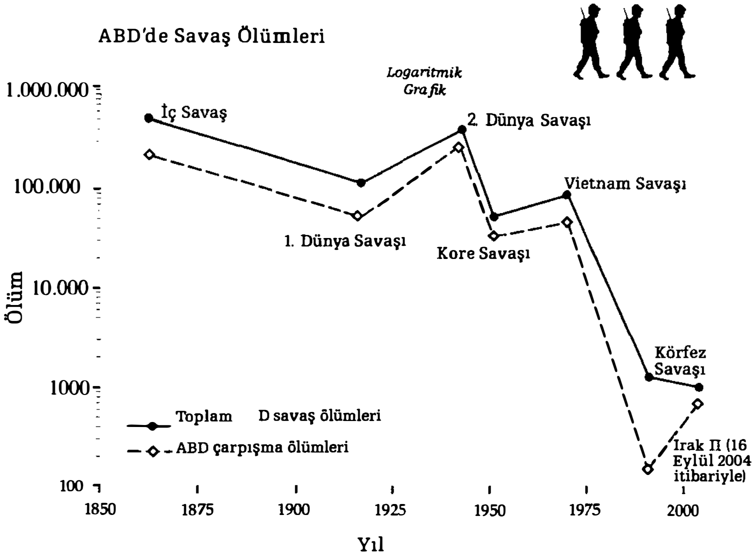
Molly 2004: *Sanırım bu doğru. Mezuniyet tezimin tek kopyasını kaybettiğimde yıkılmıştım. Altı ayım gitti, her şeye baştan başlamam gerekti.*

Molly 2104: *Ah, evet o korkunçtu. Yüz yıldan eski olmasına karşın çok net anımsıyorum. Yıkıcıydı çünkü kendimden küçük bir parçaydı. Düşüncelerimi, yaratıcılığımı o bilgi dosyasına koymuştum. İşte, senin –benim– birikmiş düşüncelerinin, deneyiminin, becerilerinin ve tarihinin ne kadar değerli olduğunu düşün.*

Savaş üzerinde...: Uzak, Robotik, Dayanıklı, Küçük Boyutlu Sanal Gerçeklik Paradigması

Silahların zekâlarının artmasıyla, giderek daha hedefe odaklı, daha az ölümle sonuçlanan harekâtlara doğru çarpıcı bir eğilim ortaya çıktı. Televizyon haberlerinin ayrıntılı, gerçekçi yaklaşımlarının yanında durup bakıldığında böyle görünmeyebilir. Birkaç günde on binlerce can kaybı yaşanan iki büyük dünya savaşı ile Kore Savaşı, yalnızca zaman zaman çekilen karlı haber görüntüleriyle kaydedilmişti. Bugün, hemen hemen her olayı ön sıradaki koltuklarımızdan izleyebiliyoruz. Her savaşın kendine göre karmaşıklıkları vardır ama can kaybı sayıları incelendiğinde keskin, zeki savaşa doğru genel bir gidiş net görülür. Bu eğilim, hastalığa karşı kullanılan akıllı silahlar sayesinde belirli görevlerin çok daha az yan etkiyle yerine getirildiği tıp alanında görmeye başladığımız şeye benzerdir. Günümüzün medya haberlerine bakıldığında öyle görünmese de (II. Dünya Savaşında elli milyon sivilin öldüğünü anımsayın), eğilim, sivil kayıplar için de geçerlidir.

ABD ordusuna bilimsel araştırma öncelikleri konusunda danışmanlık yapan Askeri Bilim Danışma Grubunun (ASAG) beş üyesinden biri de benim. Verdiğimiz brifingler, yaptığımız değerlendirmeler ve öneriler gizli olsa da, ordunun ve ABD askeri kuvvetlerinin tümünün izlediği genel teknolojik yönü paylaşabilirim.



ABD ordusunun araştırma ve laboratuvar yönetiminin direktörü, ASAG irtibat sorumlusu Dr. John A. Parmentola, Savunma Bakanlığının "dönüşüm" sürecini "çok duyarlı, ağ merkezli, çabuk karar verebilen, tüm basamaklarda üstün ve herhangi bir çarpışma alanını ezici yoğunlukla etkileyebilen" bir silahlı kuvvetlere doğru ilerleme olarak betimlemektedir.[46] Parmentola, şu anda geliştirilme aşamasında bulunan ve bu yüzyılın ikinci on yılında tanıtılması planlanan Geleceğin Savaş Sistemini (FCS), "daha küçük, daha hafif, daha hızlı, daha öldürücü ve daha akıllı" olarak nitelendirmektedir.

Geleceğin savaş düzeni ve teknolojilerinde çarpıcı değişiklikler planlanmakta. Ayrıntıları büyük olasılıkla değişecek olsa da, ordu, yaklaşık 2500 asker, insansız robot sistemleri ve FCS donanımından oluşan Brigade Combat Teams [Toplu Mücadele Timleri] (BCT'ler) adını verdikleri tugay timlerinin konuşlandırılmasını

46 John A. Parmentola, "Paradigm Shifting Capabilities for Army Transformation," SPIE Avrupa Güvenlik ve Savunmada Optik/Fotonik Sempozyumunda sunulan davetli bildiri, 25–28 Ekim 2004; elektronik olarak Bridge 34.3 (Güz 2004)'de verilmektedir: http://www.nae.edu/NAE/bridgecom.nsf/weblinks/MKEZ-65RLTA?OpenDocument.

öngörmekte. Bir BCT, her biri kendi zeki bilgi işlem kapasitesine sahip yaklaşık 3300 "platform" oluşturacak. BCT üzerinde, ortak harekât resminin uygun dille aktarılmış ortak bilgisi bulunacak, her asker gerekli bilgiyi retinada görüntüleme (ve diğer türden "ön uyarılarla"), gelecekte de doğrudan nöron bağlantısı dahil, çeşitli yöntemlerle alacak.

Ordunun hedefi, 96 saat içinde bir BCT'nin, 120 saat içinde de bütün bir tümenin konuşlandırılabilmesidir. Her askerin taşıdığı ve şu anda yaklaşık 45 kilogramlık teçhizattan oluşan yük, yeni malzeme ve aygıtlarla ilk aşamada yaklaşık 19 kilograma inerken, aynı zamanda etkililiği de çarpıcı oranda artacaktır. Teçhizatın bir bölümü "robotik katırlara" aktarılacak.

Polietilen glikol içinde tutulan silis nanoparçacıklarla yapılan Kevlar'ın yeni bir türü kullanılarak yeni bir üniforma malzemesi üretildi. Malzeme normal kullanımda esnek bir yapıda ama gerildiğinde bıçak darbelerine dayanıklı, neredeyse hiçbir geçirgenliği olmayan bir kütleye dönüşmekte. Ordunun MIT'deki Askeri Nano teknoloji Enstitüsü, savaştaki askerlerin ağır aygıtları kullanırken fiziksel güçlerini büyük ölçüde artırabilmelerini sağlayan ve "dış kas" adı verilen, nano teknoloji tabanlı bir malzeme geliştirmekte.[47]

Abrams tanklarının savaştan sağlam çıkma konusunda olağanüstü bir sicili vardır; yirmi yıldır savaş alanlarında kullanıldığı halde yalnızca üçü yitirildi. Bu, hem gelişmiş zırh malzemesi kullanılmasının hem de gelen füze ve benzeri silahları yenmek üzere tasarlanmış akıllı sistemlerin getirdiği bir sonuçtur. Ancak tankın ağırlığı yetmiş tondan fazladır. Geleceğin Savaş Sisteminin daha küçük sistemlere yönelik hedeflerini karşılamak için bu ağırlığın büyük oranda azaltılması gereklidir. Yeni, çok hafif ama son derece sağlam malzemenin (çelikten elli kat daha sağlam bir malzeme olan, nanotüplerle birleştirilmiş plastik gibi), ayrıca füze saldırılarına karşılık verecek biçimde yükseltilmiş bilgisayar zekâsının, kara savaş sistemlerinin ağırlıklarını büyük ölçüde hafifletmesi bekleniyor.

---

47 Fred Bayles,"High-tech Project Aims to Make Super-soldiers," *USA Today*, 23 Mayıs 2003, http://www.usatoday.com/news/nation/2003-05-22-nanotech-usat_x.htm; *Bkz.* Askeri Nano teknoloji Enstitüsü web sitesi, http://web.mit.edu/isn; Sarah Putnam, "Researchers Tout Opportunities in Nanotech," MIT Haber Bürosu, 9 Ekim 2002, http://web.mit.edu/newsoffice/2002/cdc-nanotech-1009.html.

Yakın dönemde Afganistan ve Irak harekâtlarında görev alan silahlı Predator ile başlayan İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) kullanma eğilimi hızlanacaktır. Ordunun yürüttüğü araştırmalar arasında, hızlı, kesin ve hem keşif hem de çarpışma görevlerini yerine getirebilecek kapasiteye sahip, kuş büyüklüğünde mikro İHA'ların geliştirilmesi de vardır. Yabanarısı büyüklüğünde daha da küçük İHA'ların yapımı da düşünülmektedir. Gerçek bir yabanarısının, sol ve sağ görme sistemleri arasındaki karmaşık etkileşime dayanan manevra yeteneği üzerine yakın geçmişte ters mühendislik uygulamaları yapıldı. Elde edilen bilgiler bu küçük uçan makinelere uygulanacak.

Geleceğin Savaş Sisteminin merkezinde, her askerden ve her aygıttan bilgi toplayabilip, karşılığında doğru bilgi göstergelerini her insan ya da makine üyeye dosya olarak verebilen, kendiliğinden düzenlenen yaygın bir iletişim ağı yer almaktadır. Düşman saldırılarından zarar görebilecek herhangi bir merkezi iletişim birimi bulunmayacak. Bilgi, kendiliğinden, ağın zarar gören bölümlerinin çevresinden dolaşacaktır. Bilinen önemli bir öncelik, iletişimin bütünlüğünü koruyacak ve düşman kuvvetlerinin bilgiyi dinlemesi ya da değiştirmesini engelleyecek yeteneğe sahip teknolojinin geliştirilmesidir. Aynı bilgi güvenlik teknolojisi, hem elektronik araçlarla hem de yazılım patojenleri kullanılan siber savaş yöntemiyle düşmanın iletişimine sızmak, bozmak, karıştırmak ya da yok etmek için uygulanacaktır.

Geleceğin Savaş Sistemi tek adımda uygulanacak bir program değildir; askeri sistemlerin, geniş bir alana yayılarak, uzaktan yönlendirilen, otonom, minyatürleştirilmiş ve robotik sistemlerin güçlü, kendiliğinden düzenlenebilen, dağıtık ve güvenli iletişimle birleştirilmesine doğru odaklanan bakışını temsil etmektedir.

ABD Ortak Kuvvetler Komutanlığının (dönüşüm düşüncesinin silahlı kuvvetler içinde hızlandırılmasından sorumlu) Alfa Projesi, 2025'te, yapılarında "görev sınırları dahilinde ... bir düzeye kadar özerk –ayarlanabilir özerklik ya da denetlenen özerklik ya da tam özerkliği olan"– taktik otonom savaşçıları (TOS'lar) barındıran "büyük ölçüde robotik" bir savaş gücünü öngörmektedir.[48]

48 Ron Schafer, "Robotics to Play Major Role in Future Warfighting," http://www.jfcom.mil/newslink/storyarchive/2003/pa072903.htm; Dr. Russell Ri-

TOS'lar, nanobotlar ve mikrobotlardan büyük İHA'lara ve diğer araçlara, ayrıca engebeli arazide gidebilen otomatik sistemlere kadar çok farklı büyüklüklerde olacak. NASA tarafından, askeri kullanımları öngörülerek geliştirilmekte olan yeni bir tasarım yılan biçimindedir.[49]

2020'lerin kendiliğinden düzenlenen küçük robotçuk sürüleri düşüncesine katkıda bulunan programlardan biri, suda, karada ve havada gidebilen uzaktan kumandalı bir insansız, otonom robot ordusunun öngörüldüğü, ABD Deniz Kuvvetleri Araştırma Biriminin Özerk İstihbarat Ağ ve Sistemleri (AINS) programıdır. Sürülerin, dağıtık komuta ve kontrol uygulayan insan komutanları, ayrıca proje yöneticisi Allen Moshfegh'in "gökyüzündeki kırılamaz internet" adını verdiği sistemleri olacaktır.[50]

Sürü parçacık zekâsının tasarımı üzerinde kapsamlı araştırmalar yürütülüyor.[51] Sürü zekâsı, her biri görece basit kurallara uyan çok sayıda bireysel ögeyle karmaşık davranışların nasıl ortaya çıkabildiğiyle ilgilidir.[52] Bir böcek sürüsünün üyeleri tek başlarına gerekli becerilere sahip olmasa da böcek sürüleri çoğu kez koloni mimarisinin tasarımı gibi karmaşık sorunlara zeki çözümler bulurlar.

ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı 2003 yılında, (robotbilimin öncülerinden Rodney Brooks'un kurucularından olduğu I–Robot şirketi tarafından yapılan) 120 askeri

---

chards, "Unmanned Systems: A Big Player for Future Forces?" Uygulamalı Fizik Laboratuvarı İnsansız Etkiler Çalıştayı, Johns Hopkins Üniversitesi, Baltimore, 29 Temmuz–1 Ağustos 2003.

49 John Rhea, "NASA Robot in Form of Snake Planned to Penetrate Inaccessible Areas," *Military and Aerospace Electronics*, Kasım 2000, http://mae.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=Archives&Subsection=-Display&ARTICLE_ID=86890.

50 Lakshmi Sandhana, "The Drone Armies Are Coming," *Wired News*, 30 Ağustos 2002, http://www.wired.com/news/technology/0,1282,54728,00.html. *Ayrıca bkz.* Mario Gerla, Kaixin Xu ve Allen Moshfegh,"Minuteman: Forward Projection of Unmanned Agents Using the Airborne Internet," IEEE Havacılık Konferansı 2002, Big Sky, Mont., Mart 2002: http://www.cs.ucla.edu/NRL/wireless/uploads/mgerla_aerospace02.pdf.

51 James Kennedy ve Russell C. Eberhart, Yuhui Shi ile birlikte, *Swarm Intelligence* (San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001), http://www.swarmintelligence.org/SIBook/SI.php.

52 Will Knight, "Military Robots to Get Swarm Intelligence," 25 Nisan 2003, http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99993661.

robottan oluşan bir taburun, böceklerin düzenli davranışlarını taklit etmelerini sağlayacak sürü parçacık zekâsıyla donatıldığını açıkladı.[53] Robotik sistemler cismen küçülüp sayıca büyüdükçe, kendiliğinden düzenlenen sürü parçacık zekâsının ilkeleri de giderek daha önemli rol üstlenecektir.

Orduda, ayrıca, geliştirme sürelerinin de kısaltılmasının gerekliliği kabul edilmektedir. Tarihsel olarak, askeri projelerin araştırma aşamasından kullanıma girmesi aşamasına kadar geçen süre, genelde on yıldan uzundur. Ama teknolojinin paradigma değişim hızının her on yılda bir yarıya inmesiyle bu geliştirme sürelerinin de bu hıza ayak uydurması zorunludur; çünkü birçok silah sistemi sahaya çıkabildiğinde çoktan eskimiş olabilmektedir. Bunu başarmanın bir yolu, yeni silahların, silah sistemlerinin, gerçek uygulamadaki geleneksel prototip yapım ve test (ve çoğu zaman da başarısız) yöntemlerinden çok daha hızlı tasarlanmasını, uygulanmasını ve test edilmesini sağlayan simülasyon yöntemiyle geliştirilip test edilmesidir.

Başlıca eğilimlerden bir diğeri, personelin çarpışmadan geri çekilmesi, böylece askerlerin sağ kalma oranının artırılmasıdır. Bu, insanların sistemleri uzaktan yönlendirip yönetmesinin sağlanmasıyla mümkündür. Bir aracın içinden pilotu çıkarmak, o aracın daha riskli görevlerde kullanılması ve çok daha yüksek manevra yeteneğiyle tasarlanması olanağını sağlar. İnsan yaşamının korunmasının gerektirdiği ayrıntıların da kaldırılmasıyla, araçlar çok daha küçülebilmektedir. Generallerse bunun daha da ilerisine gitmektedir. Tommy Franks, Afganistan'daki savaşı Katar'daki sığınağından yönetmiştir.

Akıllı Toz. ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı, kuş ve yaban arılarından da küçük, "akıllı toz" adı verilen, toplu iğne başından pek fazla büyük olmayan, karmaşık algılayıcı sistemlere sahip aygıtlar geliştirmekte. Geliştirme süreci tamamlandığında bu aygıtların milyonlarcasından oluşan sürüler, düşman topraklarına bırakılarak çok ayrıntılı izleme yürütebilecek, böylece hücumda da (örneğin, nano silahlarla) destek görev üstlenebileceklerdir. Akıllı toz sistemlerinin enerjisi nano teknolojik

53 *Age.*

yakıt hücreleriyle, ayrıca, kendi devinimlerinden, rüzgâr ve ısı akımlarından elde edilen mekanik enerjinin dönüştürülmesiyle sağlanacaktır.

Düşmanın yerini mi bulmak istiyorsunuz? Gizlenmiş silahları mı ortaya çıkarmanız gerekiyor? Neredeyse görünmez olan sayısız casus, düşman bölgesinin her santimetre karesini izleyebilir, herkesin kimliğini (ısıl ve elektromanyetik görüntülemeyle, giderek DNA testleri ve diğer yöntemlerle), her silahı saptayabilir, hatta düşman hedefleri yok edecek görevler de üstlenebilir.

Nano silahlar. Akıllı tozdan sonraki adım, büyük boyutlu silahları kullanımdan kaldırtacak, nano teknoloji tabanlı silahlar olacaktır. Herhangi bir düşmanın böylesine geniş bir alana dağılabilen güce karşı gelebilmesinin tek yolu kendi nano teknolojisi olacaktır. Ayrıca, nanoaygıtların kendiliğinden kopyalanma yeteneğiyle geliştirilmeleri, sağladıkları olanakları artıracak, ancak ciddi tehlikeleri de beraberinde getirecektir. Bu konuyu sekizinci bölümde irdeleyeceğim.

Nano teknoloji günümüzde de çeşitli askeri işlevlere uygulanıyor. Geliştirilmiş zırh için nano tek kaplamalar; etkin kimyasal ve biyolojik maddelerin hızla saptanıp belirlenmesinde kullanılan çip üzerinde laboratuvarlar; bölgeleri zararlı maddelerden arındırmakta kullanılan nano ölçekli katalizörler; kendilerini farklı durumlara göre yeniden yapılandırabilen akıllı malzemeler; yaraların mikrop kapmasını azaltmak için üniformalara yerleştirilmiş biyosidal nanoparçacıklar; son derece sağlam malzeme üretmek için plastikle birleştirilmiş nanotüpler ve kendiliğinden iyileşen malzemeler bunlardan bazıları. Örneğin, Illinois Üniversitesi, yapısında sıvı monomer moleküllerinin mikrosfer parçacıklarını ve bir katalizörü plastik bir kalıpta birleştiren, kendiliğinden iyileşen plastikler geliştirdi; çatlak oluştuğunda mikrosfer parçacıkları ayrılıp otomatik olarak çatlağı yapıştırıyor.[54]

54 S. R. White vd, "Autonomic Healing of Polymer Composites," *Nature* 409 (15 Şubat 2001): 794–797, http://www.autonomic.uiuc.edu/files/NaturePaper.pdf; Kristin Leutwyler, "Self–Healing Plastics," *ScientificAmerican.com,* 15 Şubat 2001, http://www.sciam.com/article. cfm?articleID=000B307F-C71A-1C5A-B882809EC588ED9F.

Akıllı Silahlar. Hedeflerini bulacakları umuduyla fırlatılan aptal füzelerden, örüntü tanıma yöntemiyle kendi başlarına binlerce taktik karar verebilen zeki kruz füzelerine zaten geçtik. Ancak kurşunlar, temelde küçük aptal füzeler olarak kaldılar, kurşunlara bir parça zekâ verebilmek yine askeri hedeflerdendir.

Askeri silahların boyutları küçülüp sayıları arttıkça her aygıtın bir insan tarafından kontrol edilmesi istenebilir ya da uygulanabilir olmayacaktır. Yani, kendi kendini kontrol düzeyinin artırılması önemli hedeflerden biridir. Makine zekâsı biyolojik insan zekâsının düzeyini yakaladığında daha birçok sistem kendi kendini yönetebilir duruma gelecektir.

Sanal Gerçeklik. Sanal gerçeklik ortamları, Amerikan Hava Kuvvetlerinin Silahlı İHA'sı Predator gibi uzaktan yönlendirilen sistemlerin denetimi için bugün de kullanılmaktadır.[55] Bir silah sisteminin içinde bir asker bulunsa bile (örneğin Abrams tankı), bu askerin yalnızca neler olup bittiğini görmek için pencereden dışarı bakmasını beklemeyiz. Sanal gerçeklik ortamları, gerçek bir ortamın görüntüsünü vermek ve etkili denetim için gereklidir. Sürü parçacık silahlardan sorumlu insan komutanların da bu dağıtık sistemlerin topladığı karmaşık bilgiyi öngörebilmek için uzman sanal ortamlara gereksinimleri olacaktır.

2030'ların sonları ile 2040'lı yıllarda insan bedeninin 3.0 sürümüne ve biyolojik olmayan zekâya yaklaştığımızda siber savaş konusu sahnenin ortasındaki yerini alacaktır. Her şeyin bilgi olduğu bir ortamda kendi bilginizi denetleyip düşmanınızın iletişimini, komutasını ve kontrolünü bozabilme yeteneği askeri başarıyı belirleyen birincil unsur olacaktır.

Öğrenme Üzerinde ...

Bilim düzenli bilgidir. Akıl düzenli yaşamdır.

—Immanuel Kant (1724–1804)

Günümüz dünyasında, daha gelişmiş toplumlarda bile, eğitim on dördüncü yüzyıl Avrupası'nın manastır okullarında uygulanan

55 Sue Baker,"Predator Missile Launch Test Totally Successful," *Strategic Affairs*, 1 Nisan 2001, http://www.stratmag.com/issueApr-1/page02.htm.

modele göre pek fazla değişmemiştir. Okullar hâlâ bina ve öğretmenlerden oluşan, kıt kaynaklarla kurulmuş oldukça merkezi kurumlardır. Eğitimin kalitesi de o yerel toplumun varsıllığına bağlı olarak büyük çapta farklılık göstermekte (Amerika'da eğitimin emlak vergisinden elde edilen gelirlerle finanse edilmesi geleneğinin de bu eşitsizliği şiddetlendirdiği açıktır), böylece varsıl/ yoksul ayrımına da hizmet etmektedir.

Sonunda, bütün diğer kurumlarımızda olduğu gibi, her bireyin en iyi nitelikli bilgi ve öğretime kolaylıkla ulaşabileceği, yerinden yönetilen eğitim kurumlarına yöneleceğiz. Bugün bu dönüşümün ilk aşamalarını yaşamakla birlikte ağ üzerinden sınırsız bilginin elde edilebilmesi olanağının ortaya çıkması, yararlı arama motorları, herkese açık yüksek nitelikli ağ eğitim malzemeleri ve verimliliği giderek artan bilgisayar destekli öğretim sayesinde eğitime yaygın ve ucuz erişim çoktan sağlanmaktadır.

Büyük birçok üniversite artık kapsamlı çevrimiçi dersler vermektedir, bunların çoğu da ücretsizdir. MIT'nin Herkese Açık Eğitim Yazılımı girişimi bu çabanın öncülerinden biridir. MIT, verdiği dersler arasından dokuz yüzünü –toplamda verdiği derslerin yarısıdır– ağ üzerinden ücretsiz sağlamaktadır.[56] Bu dersler daha şimdiden bütün dünyadaki eğitim üzerinde büyük etki yapmıştır. Örneğin, Brigitte Bouissou şöyle yazar: "Fransa'da bir matematik öğretmeni olarak MIT'ye ... kendi vereceğim dersleri hazırlamamda çok yardımcı olan [bu] kolay anlaşılır dersler için teşekkür etmek isterim." Pakistan'da eğitimci olan Sajid Latif, MIT'nin Herkese Açık Eğitim Yazılımını kendi müfredatına eklemiştir. Pakistan'daki öğrencileri, eğitimlerinin büyük bölümünde düzenli olarak MIT'nin derslerine –sanal olarak– katılmaktadırlar.[57] MIT, 2007 yılına kadar verdiği derslerin tamamını açık kaynak olarak (yani, ticari olmayan kullanımlar için ücretsiz olarak) çevrimiçine geçirmeyi planlamaktadır.

---

56 *Bkz.* OpenCourseWare (Açık Eğitim Yazılımı) ders listesi: http://ocw.mit.edu/index.html.

57 MIT'nin Açık Eğitim Yazılımı sitesinin ek alıntılar sayfasında Brigitte Bouissou'dan verilen alıntı: http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Global/AboutOCW/additionalquotes.htm ve Eric Bender, "Teach Locally, Educate Globally," *MIT Technology Review*, Haziran 2004, http://www.techreview.com/articles/04/06/bender0604.asp?p=1.

ABD ordusu, fiziksel çalışma gerektirmeyen tüm eğitimlerini ağ tabanlı öğretim yoluyla yürütmekte. Ağ üzerinden sağlanan, kolay erişilebilir, ucuz ve kalitesi giderek yükselen eğitim malzemesi ayrıca evden öğrenim sistemine doğru yönelen bir eğilimi de beslemektedir.

Yüksek nitelikli internet tabanlı görsel işitsel iletişimin altyapı maliyeti, ikinci bölümde irdelediğimiz gibi yılda yaklaşık yüzde 50'lik bir oranla hızla düşmeye devam etmektedir. İçinde bulunduğumuz on yılın sonuna geldiğimizde, dünyanın az gelişmiş bölgelerinde, okul öncesi eğitimden doktora çalışmalarına kadar her sınıf düzeyinde çok ucuz, yüksek nitelikli öğretime erişim sağlanabilecektir. Eğitim olanağı artık her kasabada ve köyde eğitimli öğretmenlerin bulunup bulunmamasına bağlı olmayacaktır.

Bilgisayar Destekli Öğretimin (BDÖ) zekâ düzeyi yükseldikçe, öğrenme deneyiminin her öğrenciye özel olarak bireyselleştirilebilmesi de büyük ölçüde gelişecektir. Yeni kuşak eğitim yazılımları, her öğrencinin güçlü ve zayıf yönlerinin modelini çıkarıp, eğitimi alan kişinin sorunlu olduğu konulara odaklanan yöntemleri geliştirme yeteneğine sahiptir. Kurmuş olduğum Kurzweil Eğitim Sistemleri adlı şirket, okuma özürlü çocuklara yönelik on binlerce okulda kullanılan ve çocukların normal basılı malzemelere erişebilmeleri ve okuma becerilerini geliştirebilmelerini sağlayan bir yazılımı hazırlamakta.[58]

Şu anda kullanılan bant genişliğinin sınırlılığı, üç boyutlu etkin görüntülemenin eksikliği nedeniyle, bugün sıradan ağ erişimiyle sağlanabilen sanal ortam, "orada olmak" olgusuyla tam olarak yarışamasa da bu durum değişecektir. Bu yüzyılın ikinci on yılının başlarında, görsel işitsel sanal gerçeklik ortamları bütünüyle içine girilebilen, çok yüksek çözünürlüklü ve gerçeğinden ayırt edilemez ortamlar olacaktır. Yüksek eğitim kurumlarının çoğu MIT'nin izinden gidecek, öğrenciler derslere giderek daha yaygın biçimde sanal olarak katılacaktır. Sanal ortamlarda, kim-

---

58 Kurzweil Eğitim Sistemleri (http://www.Kurzweiledu.com), disleksi bulunan kişiler için Kurzweil 3000 okuma sistemlerini sunmaktadır. Sistem, bir yandan herhangi bir kitabı kullanıcıya okurken, aynı zamanda sayfanın yüksek çözünürlüklü görüntüsü üzerinde okuduğu sözcükleri işaretleyerek göstermektedir. Sistem, kullanıcıların okuma becerilerini iyileştirecek bir dizi özelliği içermektedir.

ya, nükleer fizik ya da herhangi bir diğer bilim alanında deneylerin yürütülebileceği, yüksek nitelikli sanal laboratuvarlar oluşturulacaktır. Öğrenciler sanal bir Thomas Jefferson'la veya Thomas Edison'la etkileşime girebilecek, hatta *kendileri* sanal bir Thomas Jefferson olabileceklerdir. Her sınıf düzeyi için birçok dilde ders bulunabilecektir. Bu yüksek nitelikli, yüksek çözünürlüklü sanal sınıflara girebilmek için gereken aygıtlar, üçüncü dünya ülkelerinde bile yaygın olarak bulunup düşük maliyetle satın alınabilecektir. Yürümeyi öğrenen bebekten yetişkinlere kadar her yaştan öğrencinin herhangi bir anda herhangi bir yerden dünyanın en iyi eğitimine erişebilmesi mümkün olacaktır.

Biyolojik olmayan zekâyla birleştiğimizde, eğitimin doğası bir kez daha değişecektir. O zaman bilgi ve becerileri, en azından zekâmızın biyolojik olmayan bölümüne indirip yükleme olanağımız olacaktır. Bugün makinelerimiz bunu düzenli olarak yapıyor. Eğer dizüstü bilgisayarınızın konuşma ve karakter tanıma, dil çevirisi ya da internet araması için en son çıkan becerilere sahip olmasını isterseniz, bilgisayarınızın yapacağı tek şey doğru örüntüleri (yazılımı) indirip yükleyivermek olacaktır. Öğrenmemizi oluşturan sinirler arası bağlantı ve nöro-iletici örüntülerini çabucak yükleyivermemizi sağlayacak uygun iletişim bağlantı girişi biyolojik beyinlerimizde henüz yok. Bu, şu anda düşünmek için kullandığımız biyolojik paradigmanın birçok köklü sınırlamasından biridir, ama Tekillikle üstesinden geleceğimiz bir sınırlamadır.

İş Üzerinde ...

> Eğer her araç, hiçbir uyarı olmadan ya da kendiliğinden görevini yerine getirebilseydi; eğer, örneğin dokumacıların mekikleri, kendiliğinden dokuyabilseydi, işlik şefinin artık yardımcılara, efendinin de kölelere ihtiyacı olmazdı.
>
> —Aristoteles

> Yazının bulunmasından önce yaşanan hemen her şey (en azından ilgili küçük insan gruplarının bildikleri kadarıyla) ilk kez oluyordu. İşin başında her şey yenidir. Yaşadığımız çağda, sanat alanında yapılan her şey bunun daha önce ve ondan önce yapılmış olduğunun bilinciyle yapılmaktadır. İnsan sonrası çağın başlarında her şey yeniden yeni olacak

çünkü insanınkinden büyük bir yetenek gerektiren herhangi bir şey Homeros, da Vinci ya da Shakespeare tarafından daha önce yapılmış olmayacak.

—Vernor Vinge[59]

Artık [bilincimin] bir bölümü internette yaşamaktadır ve sanki hep orada kalmış gibidir. ... Bir öğrencinin önünde kitabı açıktır. Televizyon sesi kapalı çalışır. ... Kulaklıktan müzik sesi gelir ... ekranda bir ödev penceresi, bir e–posta ve bir anlık ileti programı penceresi ... Aynı anda birçok işi yürüten öğrenci, çevrimiçi dünyayı yüz yüze dünyaya yeğlemektedir. "Gerçek yaşam," dedi, "yalnızca bir adet daha penceredir."

—Christine Boese, MIT profesörü Sherry Turkle'ın bulgularını bildiren yazısı[60]

1651 yılında Thomas Hobbes "insan yaşamını," "yalnız, yoksul, kötü, vahşi ve kısa" olarak betimlemişti.[61] Bu, o dönemdeki yaşam üzerine oldukça iyi bir değerlendirmeydi; fakat en azından gelişmiş dünyada, bu sert nitelemelerin nedenlerini büyük ölçüde giderdik. Yaşam süresi beklentisi, az gelişmiş uluslarda bile çok az geriden gelmektedir. Teknoloji genellikle kolay kolay satın alınamayacak kadar pahalı ve çok iyi çalışmayan ürünlerle ortaya çıkar, ardından bunu biraz daha iyi çalışan yine pahalı ürünler, ondan sonra da oldukça iyi çalışan ucuz ürünler izler. Sonuçta, teknoloji etkin duruma gelir, her ana ve yana yayılır neredeyse bedava olur. Radyo ve televizyon, ardından cep telefonu bu sırayı izlemiştir. Günümüzün ağ erişimi, ucuz ve iyi çalışma evresindedir.

Bugün ilk benimseyenler ile geç benimseyenler arasındaki fark yaklaşık on yıldır, ancak yaşanan paradigma değişiminin her on yılda bir ikiye katlanmasıyla yüzyılımızın ikinci on yılı ortalarında bu gecikme farkı beş yıl, 2020'lerin ortalarında da yalnızca

59 Natasha Vita–More tarafından "Arterati on Ideas" içinde alıntılandığı gibi: http://64.233.167.104/search?q=cache:QAnJsLcXHXUJ:www.extropy.com/ideas/journal/previous/1998/02-01. html+Arterati+on+ideas&hl=en ve http://www.extropy.com/ideas/journal/previous/1998/02-01.html.

60 Christine Boese, "The Screen–Age: Our Brains in our Laptops," *CNN.com,* 2 Ağustos 2004.

61 Thomas Hobbes, *Leviathan* (1651).

birkaç yıl olacaktır. GNR teknolojilerinin o sınırsız varsıllık yaratma potansiyeli göz önüne alındığında, önümüzdeki yirmi ya da otuz yıl içinde alt sınıfların büyük oranda yok olduğunu göreceğiz (*bkz.* ikinci bölüm ile dokuzuncu bölümdeki Dünya Bankasının 2004 yılı raporu hakkındaki açıklamalar). Bu gelişmeler, büyük olasılıkla gerçekleşecek, ancak değişimin ivmelenen hızına aşırı tutucu ve Luddcu tepkileri de beraberinde getirecektir.

Moleküler nano teknoloji tabanlı üretimin ortaya çıkışıyla birlikte herhangi bir fiziksel ürünün yapım maliyeti kilo başına birkaç kuruşa düşecek, üzerine bilgi yönetim sürecinin maliyeti hesaplanacak, bu ikinci maliyet de ürünün gerçek değerini oluşturacaktır. Şu anda bu gerçeklikten çok uzakta değiliz; yazılım tabanlı süreçler bugün otomatik sistemlerle çalışan fabrikalarda, tasarımdan malzeme tedarikine, montaja kadar üretimin her aşamasını yönlendirmekte. Üretilen bir ürünün maliyetinin, o ürünün yaratılmasında bilgi süreçlerinin payına düşen bölümü, farklı ürün sınıflarına göre değişmekle birlikte, tüm ürün sınıfları genelinde giderek yükselerek yüzde 100'e doğru ilerlemektedir. 2020'lerin sonlarında hemen hemen bütün ürünlerin –giysi, yiyecek, enerji ve tabii elektronik– değerini, neredeyse tamamen o ürünlerin içerdikleri bilgi belirleyecektir. Bugün olduğu gibi, her tür ürün ve hizmetin mülkiyeti, açık kaynak sürümleri aynı anda var olacaktır.

Fikri Mülkiyet. Ürün ve hizmetlerin asal değerleri taşıdıkları bilgide ise, o zaman bilgi haklarının korunması, değerli bilginin oluşturulmasının finansmanı için gereken sermayeyi sağlayan iş modellerinin desteklenmesinin çok önemli bir yönü olacaktır. Müzik ve filmlerin yasadışı indirilmeleri nedeniyle eğlence endüstrisinde bugün yaşanan çekişme, değeri olan her şeyin temelde bilgiden oluştuğu zaman yaşanacak şiddetli savaşın habercisidir. Değerli fikri mülkiyetin yaratılmasını sağlayan mevcut ya da yeni iş modellerinin korunması gerektiği açıktır; aksi durumda fikri mülkiyetin varlığı tehdit altında olacaktır. Bununla birlikte, bilginin kopyalanmasının kolaylığının getirdiği baskı da ortadan kalkmayacak bir gerçektir; iş modellerini halkın beklentilerine uygun biçimde yürütmeyen endüstriler bunun sıkıntısını yaşayacaktır.

Örneğin, müzikte, plak endüstrisi yeni paradigmalarla liderliği üstlenmektense, (yakın zamana kadar) pahalı albüm düşünce-

sine saplanıp kalmıştı, bu da, babamın mücadele veren genç bir müzisyen olduğu 1940'lardan beri değişmeden süregelen bir iş modelidir. Halk ancak, eğer ticari fiyatlar makul olarak algılanan düzeylerde tutulursa bilgi hizmetlerinde yaygın çapta korsanlıktan vazgeçecektir. Taşınabilir telefon sektörü, korsanlığın başını alıp gitmesine izin vermeyen bir endüstriye başlıca örnektir. Cep telefonundan yapılan aramaların maliyeti gelişen teknolojiyle birlikte hızla düştü. Eğer taşınabilir telefon endüstrisi arama fiyatlarını benim çocukluğumdaki (insanların, şehirlerarası bir telefon geldiği o ender zamanlarda, ellerindeki her işi bıraktığı dönemdeki) düzeyinde tutmuş olsaydı, cep telefonu aramalarında da müzik alanındaki korsanlıktan teknik olarak daha zor olmayan benzer korsanlıkları yaşayabilirdik. Ama genelde cep telefonu ücretlerinin uygun olduğu düşünüldüğünden, cep telefonu aramalarında hile yapmak, kitlelerin gözünde suç oluşturmaktadır.

Fikri mülkiyet iş modelleri her zaman değişimin kıyısında yer alır. Dosya boyutlarının büyük olması nedeniyle film indirmek hep zor olmuştur ama bu giderek bir sorun olmaktan çıkmaktadır. Film endüstrisinin, talep üzerine yüksek çözünürlüklü filmler gibi yeni standartlara yönelmesi gereklidir. Müzisyenler genel olarak parayı canlı gösterilerden kazanırlar ama bu model de önümüzdeki on yılın başlarında üç boyutlu tam sanal gerçekliği elde ettiğimiz zaman zarar görecektir. Her endüstrinin iş modellerini sürekli olarak yeniden oluşturması gerekecektir, bu da fikri mülkiyetin yaratılması kadar yaratıcılık gerektirecektir.

Birinci endüstri devrimi, bedenlerimizin erişim alanını genişletti, ikincisi beyinlerimizin erişim alanını genişletecektir. Daha önce belirttiğim gibi geçen yüzyılda Amerika Birleşik Devletleri'nde fabrika ve çiftliklerdeki istihdam oranı yüzde 60'tan yüzde 6'ya inmişti. Önümüzdeki birkaç on yılda alışılagelmiş hemen hemen tüm fiziksel ve zihinsel işler otomatize edilecek. Bilgi işlem ve iletişim, el aygıtları gibi belirli ürünleri gerektirmeyecek, dört bir yanımızı saran kesintisiz bir zeki kaynaklar ağından oluşacak. Günümüzdeki çoğu çalışma zaten fikri mülkiyetin bir tür yaratım ve tanıtımını içermekte, ayrıca bir kişiden diğerine doğrudan kişisel hizmetleri (sağlık, zindelik, eğitim vb) kapsamaktadır. Bu eğilimler fikri mülkiyetin yaratılmasıyla –tüm sanatsal, toplumsal ve bilimsel yaratıcılığımız dahil– sürecek, biyolojik olmayan zekâyla

birleşme yoluyla da büyük ölçüde gelişecektir. Kişisel hizmetler büyük oranda, özellikle tüm duyular sanal gerçeklikle çevrelendiği zaman, sanal gerçeklik ortamına taşınacaktır.

Yerinden Yönetim. Önümüzdeki birkaç on yıl yerinden yönetime doğru temel bir eğilime tanık olacaktır. Bugün enerji tesislerimiz son derece merkezi ve saldırılara açık, enerji nakli için de gemi ve yakıt hatları kullanıyoruz. Nano mühendislik yöntemleriyle üretilecek yakıt hücrelerinin, güneş enerjisinin ortaya çıkması, enerji kaynaklarının yaygın biçimde dağıtılarak altyapımızın yerleşik bir parçası haline gelmesini sağlayacaktır. Ucuz nanoyapım mini fabrikalar kullanılarak MNT'li (moleküler nano teknoloji) üretim çok geniş alana dağılacaktır. Herhangi bir sanal ortamda neredeyse her şeyi, herkesle, her yerden, her zaman yapabilme yeteneği, ofis binalarının ve kentlerin merkezi teknolojilerinin terk edilmesine neden olacaktır.

İsteğimiz üzerine farklı biçimlere girebilen 3.0 sürümlü bedenlere ve artık biyolojinin bize bağışladığı sınırlı mimariyle kısıtlı kalmayan, büyük oranda biyolojik olmayan beyinlerimize sahip olduğumuzda insan olanın ne olduğu da yoğun bir biçimde sorgulanacaktır. Burada betimlenen her dönüşüm ani sıçramaları değil, daha çok birbiri ardına gelen birçok küçük adımı temsil etmektedir. Bu adımların atılmasında aceleci olunsa da toplumda yaygın olarak kabul edilmeleri genelde çok çabuk olmaktadır. Başlarda tartışmalı olup da sonradan yaygın olarak kullanılıp benimsenen, tüpte döllenme gibi yeni üreme teknolojilerini düşünün. Diğer yanda, değişim, çok tutucu ve Luddcu karşı tepkileri daima doğuracak, bu karşı tepkilerin şiddeti de değişim hızlandıkça artacaktır. Ama ortadaki tartışmalara karşın insan sağlığına, varsıllığına, anlatımına, yaratıcılığına ve bilgisine getirdiği büyük yararlar da kendilerini çabucak göstermektedir.

Oyun Üzerinde ...

> Teknoloji, evrenin, insanların onu deneyimlemesini gerektirmeyecek şekilde düzenlenmesinin bir yoludur.
>
> —Max Frisch, *Homo Faber**

* *Çarpık Sevda*, çev. Sezer Duru, Can Yayınları, 1999 –çn.

Yaşam ya cesur bir serüvendir ya da hiçbir şey.
—Helen Keller

Oyun, çalışmanın bir başka çeşididir; insanın her biçimiyle bilgiyi yaratmasında ayrılmaz bir role sahiptir. Bebeklerle, küplerle oyun oynayan bir çocuk, özünde bilgiyi kendi yaşadığı deneyimle yaratarak edinir. Dans hareketleriyle oynayan insanlar ortak bir yaratıcı süreci canlandırmaktadırlar (ülkenin en yoksul mahallelerinin ara sokaklarında, hip–hop akımını başlatan break dansı yaratan çocukları düşünün). Einstein, İsviçre patent bürosundaki işini bir kenara koyup, oyuncu akıl deneylerine dalmış, sonuçta yıllardır süregelen Özel ve Genel Görelilik kuramlarını oluşturmuştur. Savaş icadın babasıysa, oyun da annesidir.

Nitelikleri giderek yükselen video oyunları ile eğitim yazılımları arasında daha şimdiden belirgin bir fark kalmamıştır. 2004 Eylülünde piyasaya çıkan *Sims 2*, kendi istekleri ve amaçları olan yapay zekâ tabanlı karakterler kullanmakta. Karakterler, önceden hazırlanmış metinler olmadan, önceden kestirilemeyen biçimlerde davranırlar, öykünün çizgisi karakterlerin birbirleriyle etkileşimlerinden doğar. Bir oyun olarak kabul edilmesine karşın, oyunu oynayanlara toplumsal farkındalıklarını geliştiren içgörüler sağlamaktadır. Benzer biçimde, giderek daha gerçekçi oyunlarla sporu simüle eden oyun yazılımları beceri ve anlayış kazandırmaktadır.

2020'lere gelindiğinde üç boyutlu sanal gerçeklik, çetin ortamların ve deneyimlerin yaşandığı uçsuz bucaksız bir oyun alanı olacaktır. Başlangıcında SG, birbirine uzak mekânlar arasında bağlantı kurarak ve aralarından seçim yapılabilecek çok çeşitli ortamları ortaya koyarak, diğer insanlarla iletişimi sağlayan belli avantajları sunacaktır. Bu ortamlar başlangıçta çok inandırıcı olmayacaklarsa da, 2020'lerin sonlarında gerçek gerçeklikten ayırt edilemez olacaklar, tüm duyuları olduğu gibi duygularımızın nörolojik ilişkilerini de kullanacaklardır. 2030'lu yıllara girerken insan ile makine arasında, gerçek gerçeklik ile sanal gerçeklik arasında ya da çalışma ile oyun arasında belirgin farklar kalmayacaktır.

Evrenin Zeki Yazgısı Üzerinde ...: Evrende Yalnız Olmamız Neden Olasıdır?

> Evren yalnızca sandığımızdan daha tuhaf değil, sanabileceğimizden de daha tuhaftır.
>
> —J. B. S. Haldane

> En küçük ürünlerinden biri aracılığıyla kendini sorgulayarak, evren ne yapmakta?
>
> —D. E. Jenkins, Anglikan teolog

> Evrenin hesapladığı nedir? Görebildiğimiz kadarıyla tek bir soruya tek bir yanıt vermez. ... Evren, kendini hesaplar. Stanford Modeli yazılımla çalışan evren, kuantum alanlarını, kimyasalları, bakterileri, insanları, yıldızları, gökadaları hesaplar. Hesabı yaparken, kendi uzay–zaman geometrisini fizik kurallarının elverdiği en ince ayrıntıya kadar planlar. Hesaplama varoluştur.
>
> —Seth Lloyd ve Y. Jack Ng[62]

Kopernik öncesi günlerde evren hakkındaki naif görüşümüz, dünyanın evrenin merkezinde yer aldığı, insan zekâsının da (Tanrıdan sonra) evrene bağışlanan en büyük hediye olduğuydu. Yakın dönemin daha bilgili görüşüyse, bir yıldızın, üzerinde teknoloji yaratan türlerin yaşadığı bir gezegeninin olması olasılığı çok düşük olsa da (örneğin milyonda bir), var olan bunca yıldız (milyar kere trilyonlarca) arasında ileri teknolojiye sahip birçoğunun (milyarlar ya da trilyonlar) mutlaka bulunduğudur.

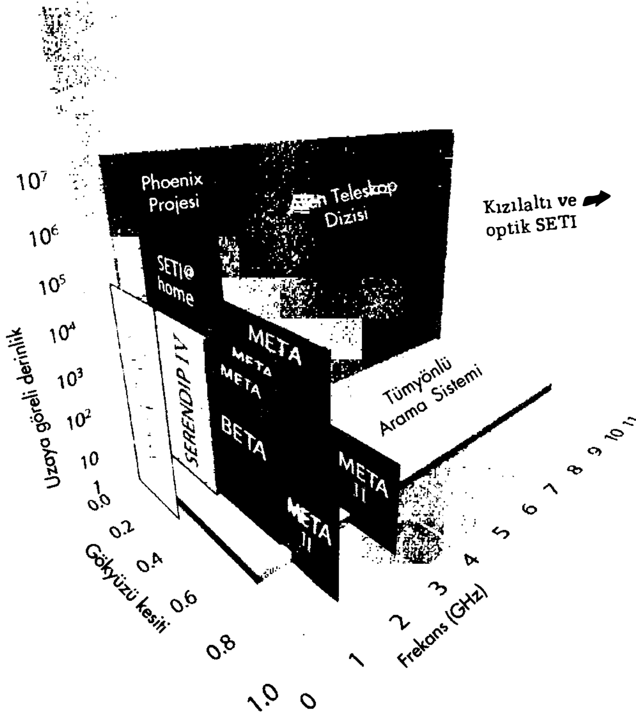
SETI'nin (Dünyadışı Akıllı Yaşam Araştırmaları) ardında yatan görüş ve günümüzün bilgiye dayalı ortak görüşü budur. Ancak, dünyadışı akıllı yaşamın yaygın olduğunu söyleyen "SETI varsayımından" kuşku duymak için nedenler vardır.

Önce yaygın SETI görüşünü düşünün. Drake denkleminin yaygın yorumları (*bkz.* sonraki bölüm), evrende çok sayıda (milyarlarca), bizim gökadamızda da binlerce ya da milyonlarca dünyadışı akıllı yaşam olduğu sonucuna varır. Samanlığın (evrenin) henüz

62 Seth Lloyd ve Y. Jack Ng, "Black Hole Computers," *Scientific American*, Kasım 2004.

çok küçük bir bölümünü incelediğimiz için, iğneyi (dünyadışı akıllı yaşam sinyalini) bugüne kadar bulamamış olmamız yıldırmamalıdır. Samanlığı inceleme çabalarımız gelişmektedir.

Sky & Telescope dergisinden alınan aşağıdaki grafik, üç ana parametreye karşı değişen tarama çabalarıyla sağlanan olanakları belirleyerek, SETI projesinin kapsamını tanımlamaktadır: Bu üç parametre, dünyadan uzaklık, iletim frekansı, gökte hedef kesittir.[63]



Grafikte, geleceğin iki sistemi gösterilmektedir. Microsoft'un kurucularından Paul Allen'ın adıyla anılan Allen Teleskop Dizisi,

63 Alan M. MacRobert, "The Allen Telescope Array: SETI's Next Big Step," *Sky & Telescope,* Nisan 2004, http://skyandtelescope.com/printable/resources/seti/article_256.asp.

tek bir ya da az sayıda büyük çanak yerine birçok küçük tarama çanağının kullanımına dayanır ve bu çanaklardan otuz ikisinin, 2005 yılında çevrimiçi çalışmaya başlaması planlanmaktadır. Allen Teleskop Dizisinin 350 çanağının tamamı devreye girdiğinde (2008 yılı olarak öngörülmektedir) sistem, 10.000 metrekarelik bir çanağa eşit olacaktır. Aynı anda 100 milyon frekans kanalını dinleyebilecek, mikrodalga spektrumunun tamamını kapsayabilecektir. Sistemin hedeflenen görevlerinden biri gökadamızda bulunan milyarlarca yıldızın taranmasıdır. Proje, birçok düşük maliyetli çanaktan sinyalleri son derece kesin bir doğrulukla çıkarıp alabilen, zeki bir bilgi işlem sistemi üzerine kurulmuştur.[64]

Ohio Eyalet Üniversitesi, zeki bilgi işleme dayanarak, basit antenlerden oluşan geniş bir diziden gelen sinyalleri yorumlayan Tümyönlü Arama Sistemini kuruyor. İnterferometri (sinyallerin birbirlerine nasıl giriştiğinin incelenmesi) ilkeleri kullanılarak, antenlerden gelen verilerden gökyüzünün tamamının yüksek çözünürlüklü görüntüsü hesaplanabilmekte.[65] Daha başka projeler de, örneğin kızılaltı ve optik alanları araştırmak üzere elektromanyetik frekansın erimini genişletmektedir.[66]

Bu şemada gösterilen üç parametreye ek altı parametre daha vardır; örneğin, kutuplanma (dalga cephesinin yüzeyinin elektromanyetik dalgaların yönüyle ilişkisi). Şemadan çıkarabileceğimiz sonuçlardan biri, bu dokuz boyutlu "parametre uzayının" yalnızca çok ince dilimlerinin SETI tarafından araştırılmış olduğudur. Bu durumda akıl bize, dünyadışı akıllı yaşama dair bir kanıtı henüz bulamamış olduğumuza şaşırmamamız gerektiğini söylemektedir.

Ancak aradığımız tek bir iğne değildir. İvmelenen getiriler yasasına dayanarak, dünyadışı akıllı yaşamlardan biri ilkel mekanik teknolojileri bir kez yakaladığında, burada, yani dünyadaki, yirmi ikinci yüzyıl için öngördüğüm sınırsız olanaklara ulaşması yalnızca birkaç yüzyıl sürecektir. Rus gökbilimci N. S. Karda-

---

64 *Age.*

65 *Age.*

66 C. H. Townes, "At What Wavelength Should We Search for Signals from Extraterrestrial Intelligence?" *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 80 (1983): 1147–1151. S. A. Kingsley, *The Search for Extraterrestrial Intelligence in the Optical Spectrum* içinde, cilt 2, yay. haz. S. A. Kingsley ve G. A. Lemarchand (1996) Yord. WPIE 2704: 102–116.

şev, "II. tip" bir uygarlığı, yıldızından gelen gücü dizginleyerek, elektromanyetik ışıma yoluyla (bizim güneşimizden yola çıkarsak yaklaşık 4 X 10^{26} vat) iletişim için kullanan uygarlık olarak tanımlamaktadır.[67] Benim tahminlerime göre (*bkz.* üçüncü bölüm) uygarlığımız bu düzeye yirmi ikinci yüzyılda gelecektir. Birçok SETI kuramcısının tahmin ettiği çeşitli uygarlıkların teknolojik gelişme düzeyinin çok geniş zaman dilimlerine yayılması gerektiğini göz önünde bulundurursak, bu, bizden daha ileride olan birçok uygarlığın olduğu anlamına gelir. Yani II. tipte birçok uygarlığın olması gerekir. Gerçekten de bu uygarlıklardan bazılarının gökadalarında koloniler kurup, Kardaşev'in gökadasındaki enerjiyi (bizim gökadamızdan yola çıkarsak yaklaşık 4 X 10^{37} vat) dizginleyebilmiş olan III. tip uygarlığa ulaşmak için yeterince zamanları olmuştur. Tek bir ileri uygarlığın bile milyar ya da trilyonlarca "iğne"–yani, sonsuz sayıdaki bilgi sürecinden ortaya çıkan yapay olgu ve yan etki olarak, SETI parametre uzayındaki çok sayıdaki noktayı temsil eden sinyal– yayıyor olması gerekir. Parametre uzayının, SETI projesinin bugüne kadar taramış olduğu çok ince dilimleriyle bile, III. tip uygarlık bir yana, II. tip bir uygarlığın gözden kaçmış olması zordur. Bu ileri uygarlıktan çok sayıda olması gerektiği beklentisini de hesaba kattığımızda bunları fark etmemiş olmamız gariptir. Fermi Paradoksu işte budur.

Drake Denklemi. SETI araştırmasının büyük bölümü gökbilimci Frank Drake'in gökadamızdaki zeki (ya da daha kesin ifadesiyle, radyo sinyali yayan) uygarlıkların sayısını hesaplamak için 1961 yılında ortaya koyduğu denklemden doğmuştur.[68] (Tahminen aynı çözümleme başka gökadalar için de geçerli olacaktır.) SETI varsayımını Drake denkleminin perspektifinden ele alın:

---

67 N. S. Kardashev, "Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations," *Soviet Astronomy* 8.2 (1964): 217–220. Guillermo A. Lemarchand, "Detectability of Extraterrestrial Technological Activities" içinde özetlenmiştir, *SETIQuest* 1:1, s. 3–13, http://www.coseti. org/lemarch1.htm.

68 Frank Drake ve Dava Sobel, *Is Anyone Out There?* (New York: Dell, 1994); Carl Sagan ve Frank Drake, "The Search for Extraterrestrial Intelligence," *Scientific American* (Mayıs 1975): 80–89. Bir Drake denklemi hesaplama makinesi şu adreste bulunabilir: http://www.activemind.com/Mysterious/Topics/ SETI/drake_equation.html.

Radyo sinyali yayan uygarlıkların sayısı = N X f_p X n_e X f_l X f_i X f_c X f_L

iken,

N = Samanyolu gökadasında bulunan yıldızların sayısı. Şu andaki tahminler 100 milyar (10^{11}) dolayındadır.

f_p = Yörüngesinde dolaşan gezegenleri olan yıldızların oranı. Şu andaki tahminler yüzde 20 ile yüzde 50 arasındadır.

n_e : Yörüngesinde dolaşan gezegenleri olan her yıldız için yaşama elverişli gezegenlerinin ortalaması nedir? Katsayı oldukça tartışmalıdır. Bazı tahminlere göre bir ya da daha fazlayken (yani, gezegeni olan her yıldızın ortalamada üzerinde yaşam sürdürülebilen en az bir gezegeni vardır), diğerlerine göre, binde bir ya da da azına kadar düşer.

f_l : Yaşama *elverişli* gezegenler için, bunların kaçta kaçında gerçekten yaşam gelişmektedir? Tahminler haritanın her yanını kaplamakta, ortalama yüzde 100'den yüzde 0'a kadar değişir.

f_i : Üzerinde yaşam gelişen her gezegen için bunların kaçta kaçında akıllı yaşam gelişmektedir? f_l ve f_i Drake denkleminin en tartışmalı elemanlarıdır. Burada tahminler yine hemen hemen yüzde 100'den (yani eğer yaşam buraya ayak basarsa ardından akıllı yaşamın geleceği kesindir) neredeyse yüzde 0'a kadar (yani, akıllı yaşam çok enderdir) değişmektedir.

f_c : Üzerinde akıllı yaşam olan her gezegen içinde iletişimde radyo sinyal dalgaları kullananların oranı nedir? f_c için tahminler, eğer zeki türler varsa radyo sinyalleriyle iletişimin keşfedilmesinin ve kullanılmasının olası olduğu (mantıksal) düşüncesine dayanarak f_l ve f_i için yapılan tahminlerden daha yüksek olma eğilimindedir.

f_L : Ortalama iletişim kuran bir uygarlığın evrenin yaşamı süresince radyo dalgalarıyla iletişim kurma oranı.[69] Kendi

69 Drake denkleminin yapılan birçok tanımı, fL'yi gezegenin radyo sinyallerinin iletimini barındıran yaşamının bir kesri olarak ifade eder, ama gezegenin kaç zamandır var olduğu bizi pek ilgilendirmediği için bunun doğru ifadesi, evrenin yaşamının bir kesri olmalıdır. Bizim ilgilendiğimiz, radyo sinyallerinin süresidir.

uygarlığımızı örnek olarak alırsak, evrenin kabaca on ile yirmi milyar yıl arasındaki ömründe biz yaklaşık yüz yıldır radyo sinyalleriyle iletişim kuruyoruz; yani dünya için f_L şu ana kadar yaklaşık 10^{-8} olacaktır. Eğer iletişimimizi radyo sinyalleriyle kurmaya, diyelim, dokuz yüz yıl daha devam edersek bu katsayı 10^{-7} olacaktır. Bu katsayı bir dizi etmene tabidir. Eğer bir uygarlık, radyo sinyalleriyle iletişimle birlikte gelişme eğiliminde olan teknolojilerin (nükleer füzyon ya da kendiliğinden kopyalanan nano teknoloji gibi) yıkıcı gücüyle baş edememesi nedeniyle kendini yok ederse, o zaman radyo sinyalleri de kesilecektir. Dünyada (radyo öncesi de olsa) örgütlü toplumları ve bilimsel çabalarını bir anda sonlandırmış olan uygarlıkları (örneğin Mayalar) gördük. Diğer yandaysa her uygarlığın bu şekilde sonlanması olasılık dışıdır; bu nedenle ani yıkımın, radyo sinyallerini kullanabilen uygarlıkların sayısının azalmasında yalnızca küçük bir katsayıyı oluşturması olasıdır.

Daha kayda değer bir konu, uygarlıkların elektromanyetik (yani radyo) sinyallerden iletişimin daha yetenekli yöntemlerine doğru ilerlemeleridir. Bizler, dünyada, radyo sinyallerinden kablolara, uzun mesafeli iletişim için kablo ve fiber optik kullanımına doğru ilerliyoruz. Bu nedenle de iletişimin bant genişliğinde genelde görülen çok büyük artışlara karşın, gezegenimizden uzaya gönderilen elektromanyetik bilginin miktarı son on yılda oldukça tutarlı olmuştur. Diğer yandan, kablosuz iletişim yöntemlerimiz de (örneğin cep telefonları, yeni gelişen Wimax standardı gibi yeni kablosuz internet protokolleri) giderek artmaktadır. İletişimin, kablo kullanmak yerine, kütleçekim dalgaları gibi egzotik ortamlara da dayanması mümkündür. Ancak bu durumda bile elektromanyetik iletişim yöntemlerinin, artık bir dünyadışı zekânın en ileri teknolojisi olmasa bile, en azından bazı uygulamalarda kullanılmaya devam edilmesi olasıdır (f_L her durumda bir uygarlığın bu tür sinyalleri sonlandıracağı olasılığını dikkate almaz).

Drake denkleminin, ölçülemeyen birçok unsur içerdiği bellidir. Denklemi dikkatle inceleyen birçok SETI savunucusu, denklemin yalnızca bizim gökadamızda, önemli sayıda radyo sinyali yayan uygarlığın olmasını gerektirdiğini öne sürmektedirler. Örneğin,

eğer yıldızların yüzde 50'sinin gezegeni olduğunu ($f_p = 0{,}5$), bu yıldızların her birinin ortalamada, yaşama elverişli iki gezegeni bulunduğunu ($n_e = 2$), bu gezegenlerin yarısında yaşamın oluştuğunu ($f_l = 0{,}5$), bu gezegenlerin de yarısında akıllı yaşamın geliştiğini ($f_i = 0{,}5$), bunların yarısının da radyo olanağına sahip olduğunu ($f_c = 0{,}5$) ve radyo sinyali yayan ortalama bir uygarlığın bir milyon yıldır sinyal yaydığını ($f_L = 10^{-4}$) varsayarsak, Drake denklemi bize gökadamızda radyo sinyali yayma kapasitesine sahip 1.250.000 uygarlığın bulunduğunu söyler. Örneğin, SETI Enstitüsünün kıdemli gökbilimcilerinden Seth Shostak, Samanyolunda üzerinde radyo sinyali yayan uygarlık yaşayan on bin ile bir milyon arasında gezegen olduğunu tahmin etmektedir.[70] Carl Sagan, gökadada bir milyon, Drake de yaklaşık on bin tahmininde bulunmuştur.[71]

Ancak, yukarıdaki parametreler tartışılabilecek kadar yüksektir. Yaşamın –özellikle de akıllı yaşamın– gelişmesinin zorluğu üzerinde daha tutucu varsayımlarda bulunursak, çok farklı bir sonuç elde ederiz. Eğer yıldızların yüzde 50'sinin gezegeni olduğunu ($f_p = 0{,}5$), bu yıldızlardan yalnızca onda birinin yaşama elverişli gezegeni bulunduğunu (yaşama elverişli koşulların o kadar yaygın olmadığı gözlemine dayanarak, $n_e = 0{,}1$), bu gezegenlerin de yüzde 1'inde yaşamın oluştuğunu (bir gezegende yaşamın başlamasının zor olduğuna dayanarak, $f_l = 0{,}01$), bu gezegenlerin de yüzde 5'inde akıllı yaşamın geliştiğini (dünyada bu sürecin çok uzun zaman almasına dayanarak, $f_i = 0{,}5$), bunların yarısının da radyo olanağına sahip olduğunu ($f_c = 0{,}5$) ve radyo sinyali yayan ortalama uygarlığın on bin yıldır sinyal yaydığını ($f_L = 10^{-6}$) varsayarsak, Drake denklemi bize gökadamızda radyo sinyali yayma kapasitesine sahip bir (daha hassas değerle 1,25) uygarlığın bulunduğunu söyler. Biz de zaten birini biliyoruz.

Sonuçta, bu denkleme dayanarak dünyadışı akıllı yaşamın lehinde ya da aleyhinde güçlü bir tezin ortaya konması zordur. Drake denkleminin bize söylediği bir şey varsa bu, tahminlerimizin

70 Seth Shostak, "gökadada 10.000 ile bir milyon arasında radyo vericisi olduğu tahminini" ortaya koymuştur. Marcus Chown, "ET First Contact 'Within 20 Years'," *New Scientist* 183.2457 (24 Temmuz 2004). Şu çevrimiçi adreste verilmektedir: http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn6189.

71 T. L. Wilson, "The Search for Extraterrestrial Intelligence," *Nature*, 22 Şubat 2001.

son derece belirsiz olduğudur. Ama şimdilik bildiğimiz evrenin sessiz gibi göründüğü; yani, dünyadışı akıllı yaşam sinyallerine ait hiçbir sağlam kanıt bulamadığımızdır. SETI'nin ardındaki varsayıma göre, yaşam –ve akıllı yaşam– o kadar yaygındır ki evrende (ya da en azından bizim, radyo sinyallerini, dünyaya bugün gelmiş olacak kadar uzun zaman önce yaymış olan uygarlıkları belirten, ışık küremizde) milyarlarca değilse bile milyonlarca radyo sinyali yayacak düzeyde uygarlık olmalıdır. Ancak bugüne kadar tek bir tanesi bile SETI çabalarımızın gözüne çarpmadı. O halde, radyo sinyali yayan uygarlıklar hakkındaki SETI varsayımını bir de ivmelenen getiriler yasasının perspektifinden ele alalım. İrdelediğimiz gibi, evrimsel bir süreç doğal olarak ivme kazanır. Dahası, teknolojinin evrimi, işin başında teknolojiyi yaratan türün ortaya çıkmasını sağlayan, görece yavaş evrim sürecinden çok daha hızlıdır. Kendi durumumuzu ele alırsak, biz en hızlı kara ulaşım aracı olarak atları kullanan, elektrik öncesi, bilgisayarsız bir toplumdan, günümüzün gelişmiş bilgi işlem ve iletişim teknolojilerine yalnızca iki yüz yılda geçtik. Yukarıda belirtildiği gibi, benim tahminlerime göre, yüz yılda zekâmızı trilyonlarca kez katlayacağız. Yani, ilkel mekanik teknolojilerle ortaya çıkan ilk kıpırtılardan zekâ ve iletişim olanaklarımızın çok büyük gelişimine ulaşmamız yalnızca üç yüz yıl sürmüş olacaktır. Demek ki bir varlık türü elektronik ve radyo sinyalleri yayacak kadar gelişmiş teknolojiyi yarattıktan sonra, zekâsının gücünü çok büyük ölçekte genişletebilmesi yalnızca birkaç yüzyıllık bir meseledir.

Dünyada bu ilerlemenin gerektirdiği üç yüz yıl, yaşını on üç ile on dört milyar yıl arasında tahmin ettiğimiz evren ölçeğinde çok kısa bir zaman dilimidir.[72] Modelim, bir uygarlığın bizim radyo

---

72 Son tahminler, on ile on beş milyar yıl arasındadır. Hubble Uzay Teleskopundan alınan verilere dayanan 2002 tahminleri, on üç ile on dört milyar yıl arasındaydı. Case Western Reserve Üniversitesi araştırmacısı Lawrence Krauss ile Dartmouth Üniversitesi araştırmacısı Brian Chaboyer tarafından yayımlanan bir çalışma, yıldızların evrimleri hakkındaki son bulguları uygulayarak, yüzde 95 oranında bir güvenilirlik düzeyiyle evrenin yaşının 11,2 ile 20 milyar yıl arasında olduğu sonucuna varmıştır. Lawrence Krauss ve Brian Chaboyer, "Irion, the Milky Way's Restless Swarms of Stars," *Science* 299 (3 Ocak 2003): 60–62. NASA'dan bildirilen son araştırmalar, evrenin yaşını 13,7 milyar yıl artı/eksi 200 milyon yıl olarak daraltmıştır, http://map.gsfc.nasa.gov/m_mm/mr_age.html.

sinyali yayma düzeyimize geldikten sonra, II. tip uygarlığa ulaşmasının bir –en fazla iki– yüz yıldan uzun sürmeyeceğini göstermektedir. SETI'nin temel varsayımı olan, gökadamızda milyonlarca değilse bile binlerce radyo sinyali yayan uygarlık olduğu –bu nedenle de evrenin bizim bulunduğumuz ışık küresinde milyarlarcası olduğu– düşüncesini kabul edersek, bu uygarlıkların milyarlarca yıllık gelişimin farklı evrelerinde bulunmaları gerekir. Kimisi bizden geride, kimisi ileride olacaktır. Bizden daha ileri olan uygarlıkların her birinin yalnızca birkaç on yıl ilerimizde olacağı düşüncesi inandırıcı değildir. Bizden ileride olanların birçoğu, milyarlarca değilse de milyonlarca yıl önde olacaktır.

Yine de, mekanik teknolojiden Tekilliğin engin zekâ ve iletişim patlamasına ilerlemek için yalnızca birkaç yüzyıl yeterliyse, SETI'nin varsayımına göre ışık küremizde, teknolojileri bizimkinden düşleyemeyeceğimiz kadar ileride olan milyarlarca (gökadamızda da binlerce ya da milyonlarca) uygarlığın olması gerekir. SETI projesiyle ilgili en azından kimi tartışmalarda, diğer alanlara da yayılmış olan aynı doğrusal düşünme biçimiyle, uygarlıkların bizim teknoloji düzeyimize erişeceği ve o noktadan sonra milyonlarca değilse bile binlerce yılda yavaş yavaş ilerleyeceği varsayımlarını görüyoruz. Ancak radyoyla başlayan ilk kıpırtılardan, salt bir II. tip uygarlığın ötesine geçen güçlere sıçranması yalnızca birkaç yüz yıl sürmektedir. Yani bu durumda, göklerin akıllı yayınlarla ışıl ışıl parlaması gerekirdi.

Ama gökyüzü oldukça sakin. Evreni bu kadar sessiz bulmamız çok tuhaf ve ilginç. 1950 yılının yazında Enrico Fermi'nin sormuş olduğu gibi: "Herkes nerede?"[73] Yeterince ileri bir uygarlığın sinyallerini gizli frekanslarda hafif sinyallerle sınırlaması olası değildir. Dünyadışı bütün akıllı yaşam uygarlıkları neden böylesine çekingenler?

Fermi Paradoksu olarak adlandırılana (ki bilindiği gibi, yalnızca çoğu gözlemcinin Drake denklemine uyguladığı iyimser parametreler kabul edildiğinde bir paradokstur) yanıt verme çabaları olmuştur. Ortak yanıtlardan biri, radyo sinyali yeteneğine erişen

73 Eric M. Jones, " 'Where Is Everybody?': An Account of Fermi's Question," içinde alıntı, Los Alamos Ulusal Laboratuvarları, Mart 1985, http://www.bayarea.net/~kins/AboutMe/Fermi_and_Teller/fermi_question.html.

bir uygarlığın kendini gizleyip, silebileceğidir. Bu açıklama, yalnızca böyle birkaç uygarlıktan söz ediyor olsaydık kabul edilebilir olurdu, ama bu uygarlıklardan milyarlarcasına işaret eden yaygın SETI varsayımlarıyla bu uygarlıkların her birinin kendini yok etmiş olması inandırıcı bir düşünce değildir.

Diğer iddialar da aynı doğrultudadır. Belki de (bu kadar ilkel olduğumuz için) "onlar" bizi rahatsız etmemeye karar vermiş, sessizce (*Uzay Yolu* dizisinin hayranlarına tanıdık gelecek bir etik ilke) bizi seyrediyorlar. Bir kez daha, var olması gereken milyarlarca uygarlığın her birinin de aynı kararı verdiğini düşünmek pek inandırıcı değildir. Ya da belki de daha yetenekli iletişim paradigmalarına geçmişlerdir. Elektromanyetik dalgalardan –çok yüksek frekanstakilerden bile– daha yetenekli iletişim yöntemlerinin uygulanabilmesi, ayrıca (önümüzdeki yüzyıl içinde bizim de olacağımız kadar) gelişmiş uygarlıkların bunları keşfedip kapsamlı biçimde yararlanması olasıdır. Ama elektromanyetik dalgaların bu milyonlarca uygarlık arasından birinde bile kesinlikle hiçbir rolünün olmaması, diğer teknolojik süreçlerin bir yan ürünü olarak bile kullanılmaması çok düşük olasılıktır.

Bu arada belirtmem gereken bir konu, elde edilen olumsuz bulguların olumlu sonuçlardan daha değersiz olmadığı, bu nedenle bu yazılanların da yüksek öncelik verilmesi gereken SETI projesinin değerine karşı gelen bir tez olmadığıdır.

Bilgi İşlemin Sınırlarının Yeniden Ele Alınması. İvmelenen getiriler yasasının evrendeki zekâya ek olarak getirdiği bazı sonuçları ele alalım. Üçüncü bölümde, yapılacak son soğuk dizüstü bilgisayarı irdeleyerek, bir litre ve bir kilogram ağırlığındaki bilgisayarın optimum bilgi işlem kapasitesini, on mikrosaniyede on milyar insan beyninin on bin yıllık düşünmesine denk bir performans için yeterli düzey olan 10^{42} cps dolayında hesapladım. Enerji ile ısının daha zeki biçimde yönetilmesini sağladığımız zaman bir kilogram maddenin bilgi işleme potansiyeli 10^{50} cps'e kadar çıkabilecektir.

Bu aralıktaki bilgi işleme kapasitelerine ulaşmanın teknik gereksinimleri insanın gözünü korkutabilir, ama işaret ettiğim gibi, buradaki uygun zihinsel deney, bir uygarlığın engin mühendislik

yeteneklerinin insanların bugün sahip oldukları sınırlı mühendislik yetenekleriyle değil, kilogram başına 10^{42} cps ile düşünülmesidir. 10^{42} cps düzeyindeki bir uygarlık büyük olasılıkla 10^{43} cps'e, oradan 10^{44} cps'e, oradan da daha yükseğine nasıl ulaşılacağını da çözecektir. (Gerçekten de aynı tezi her adımda bir ileri adıma geçmek için kullanabiliriz.)

Bir kez bu düzeylere eriştikten sonra uygarlığın bilgi işlem kapasitesini bir kilogram maddeyle sınırlı bırakmayacağı açıktır, tıpkı bizim bugün yaptığımız gibi. Öyleyse uygarlığımızın çevremizdeki kütle ve enerjiyle neler yapabileceğini düşünelim. Dünyanın kütlesi yaklaşık 6 X 10^{24} kilogramdır. Jüpiter'in kütlesi ise yaklaşık 1,9 X 10^{27} kilogramdır. Hidrojen ve helyumu saymazsak, güneş sisteminde, güneşi dahil etmeden (ki sonuçta bu adil bir yaklaşımdır) yaklaşık 1,7 X 10^{26} kilogram madde bulunmaktadır. Güneş'in ağır bastığı güneş sisteminin tamamının kütlesi yaklaşık 2 X 10^{30} kilogramdır. Üst sınıra göre kabaca bir çözümleme yapmak için güneş sisteminin kütlesini bir kilogram madde başına 10^{50}'lik bilgi işlem sınırı tahminimize uygularsak (nano bilgi işlemin sınırlarına dayanarak), "yakın çevremizde" 10^{80} cps'lik bir bilgi işlem sınırına ulaşırız.

Kuşkusuz, uygulamada bu tür bir üst sınıra ulaşmayı zorlaştırabilecek etkenler vardır. Ancak, güneş sistemindeki maddenin yüzde 1'inin yirmide birini (0,0005) bile bilgi işlem ve iletişim kaynaklarına ayırsak, "soğuk" bilgi işlem için 10^{69} cps'lik, "sıcak" bilgi işlem için ise 10^{77} cps'lik kapasiteye ulaşırız.[74]

Bu ölçeklerdeki bilgi işlemin enerji kullanımı, ısı kaybı, iç iletişim hızları, güneş sisteminde maddenin yapısı gibi karmaşık tasarım gereksinimlerini dikkate alan mühendislik hesapları yapılmıştır. Bu tasarımlar tersinir bilgi işlem kullanmaktadır; ancak, üçüncü bölümde belirttiğim gibi, hataların düzeltilmesi ve sonuçların iletimine yönelik enerji gereksinimlerini hesaba katmamız gerekir. İşlemsel sinirbilimci Anders Sandberg'in yaptığı bir ince-

74 Önce, son soğuk dizüstü bilgisayar için (üçüncü bölümde) öngörülen 10^{42} cps'lik değeri ele alın. Güneş Sisteminin kütlesini yaklaşık olarak güneşin kütlesine eşit, yani 2 x 10^{30} kilogram hesaplayabiliriz. Bu kütlenin yüzde 1'inin yirmide biri, 10^{27} kilogramdır. Kilogram başına 10^{42} cps bize 10^{69} cps verir. Eğer son sıcak dizüstü bilgisayar için 10^{50} cps'lik değeri kullanırsak bu bize 10^{77} cps verir.

lemede, Zeus adında, dünya büyüklüğündeki bir bilgi işlem "nesnesinin" bilgi işleme kapasitesi değerlendirilmiştir.[75] Yaklaşık 10^{25} kilogram (dünyanın kütlesinin yaklaşık 1,8 katı) elmassı karbondan oluşan bu "soğuk" bilgisayarın kavramsal tasarımı, her biri geniş kapsamlı paralel işleme kullanan 5 X 10^{37} bilgi işlem düğümünden oluşmuştur. Zeus, tahminen 10^{61} cps'lik bir bilgi işlem ya da veri saklama için kullanıldığında 10^{47} bit ile tepe noktasına ulaşmaktadır. Tasarımda önemli bir kısıtlayıcı etmen, silinmesine izin verilen bit sayısıdır (saniyede 2,6 X 10^{32} bite kadar silinmesine izin verir), bu da silme işlemleri temelde kozmik ışınlar ve kuantum etkilerinden gelen hataların düzeltilmesi için kullanılmaktadır.

1959 yılında astrofizikçi Freeman Dyson, ileri bir uygarlığa hem enerji hem de yaşam alanı sağlayabilmek için bir yıldızın çevresinde kavisli kovanlar kavramını ortaya attı. Dyson Küresinin bir düşüncesi, tam sözcük anlamıyla, yıldızın çevresini sararak enerji toplayan ince bir küre oluşturmaktır.[76] Uygarlık kürenin içinde yaşayacak ve kürenin dışına (yıldızın uzağına) ısı (kızılaltı enerji) verecektir. Dyson Küresinin bir başka (ve daha uygulanabilir) biçimi, her biri yıldızın ışımasının yalnızca bir bölümünü bloke eden bir dizi kavisli kovandan oluşur. Bu sayede Dyson Kabukları var olan gezegenler, özellikle de dünya gibi, korunması gereken bir ekolojiyi barındıranlar üzerinde herhangi bir etkisi olmadan tasarlanabilir.

Dyson, bu kavramı ileri bir *biyolojik* uygarlık için büyük ölçeklerde uzay ve enerji sağlamanın bir yolu olarak ortaya atmış olsa da, bu düşünce, yıldız ölçeğinde bilgisayarların temeli olarak da kullanılabilir. Bu tür Dyson Kovanları güneşimizin yörüngesinde, dünyaya gelen güneş ışığını engellemeden dönebilirler. Dyson bu kovan ya da kürelerde zeki biyolojik varlıkların yaşamasını tasarlamıştır; ancak, bilgi işlem bir kez keşfedildikten sonra artık uygarlık büyük bir hızla biyolojik olmayan zekâya doğru yol aldığına göre, kovanlardaki nüfusun biyolojik insanlarla oluşturulması için bir neden olmayacaktır.

75 Anders Sandberg, "The Physics of Information Processing Superobjects: Daily Life Among the Jupiter Brains," *Journal of Evolution and Technology* 5 (22 Aralık 1999), http://www.jetpress.org/volume5/Brains2.pdf.

76 Freeman John Dyson, "Search for Artificial Stellar Sources of Infrared Radiation," *Science* 131 (3 Haziran 1960): 1667–1668.

Dyson kavramının gelişmiş bir diğer yönü de kovanlardan birinin verdiği ısının, o kovana paralel olarak güneşten daha uzak bir noktada bulunan bir başka kovan tarafından yakalanıp kullanılabilmesidir. Bilgisayar uzmanı Robert Bradbury, bu katmanlardan herhangi bir sayıda olabileceğine işaret ederek, yerinde bir ifadeyle "Matruşka Beyin" adı verilen, güneşin ya da bir başka yıldızın çevresinde iç içe yuvalanan kovanlar olarak düzenlenmiş bir bilgisayar önermektedir. Sandberg tarafından çözümlemesi yapılan, Uranos adı verilen bu tür bir kavramsal tasarım, güneş sistemindeki hidrojen ve helyum olmayan kütlenin yüzde 1'ini (güneş hariç) ya da yaklaşık 10^{24} kilogramını –bu Zeus'tan biraz daha azdır– kullanmak üzere tasarlanmıştır.[77] Uranos, yaklaşık 10^{39} bilgi işlem düğümü, tahminen 10^{51} cps'lik bilgi işlem ve yaklaşık 10^{52} bitlik saklama kapasitesi sağlamaktadır.

Bilgi işlem daha şimdiden –merkezi olmaktan çok– geniş bir alana yayılmış bir kaynaktır. Daha fazla dağıtıklığa doğru eğilimin güçleneceğini düşünüyorum. Bununla birlikte uygarlığımız bilgi işlem için yukarıda öngörülen yoğunluklara yaklaştıkça çok yüksek sayıdaki işlemcinin dağılımı da büyük olasılıkla bu bilgi işlem tasarımlarının özelliklerini alacaktır. Örneğin, Matruşka kovanlar düşüncesi, güneş enerjisinden ve ısı kaybından maksimum avantajı elde edecektir. İkinci bölümde verdiğim tahminlerime göre güneş sistemi ölçeğindeki bu bilgisayarların bilgi işlem güçlerine bu yüzyılın sonu dolaylarında ulaşılacağına dikkat edin.

Daha Büyük, Daha Küçük. Güneş sistemimizin bilgi işleme kapasitesinin 10^{70} ile 10^{80} cps arasında olduğu dikkate alındığında, tahminlerime göre bu sınırlara yirmi ikinci yüzyılın başlarında ulaşacağız. Bilgi işlem tarihi bize, bilgi işlemin gücünün, hem içe hem de dışa doğru geliştiğini göstermektedir. Son birkaç on yılda, her iki yılda bir her tümleşik devre çipinin üzerine daha fazla sayıda bilgi işlem unsurunu (transistörü) yerleştirdik, bu da içe doğru (bir kilogram madde başına daha yoğun bilgi işleme doğru) büyümeyi oluşturur. Ama çip sayısının (şu andaki) her yıl yaklaşık

77 Sandberg, "Physics of Information Processing Superobjects" içinde alıntılanmıştır.

yüzde 8,3'lük artışıyla dışa doğru da gelişiyoruz.[78] Bu iki tip gelişmenin de süreceğini, içe doğru büyümenin sınırlarına (üç boyutlu devrelerle) yaklaştığımızda da dışa doğru büyümenin belirgin biçimde artacağını beklemek akla uygundur.

Dahası, bilgi işlemin gelişmesinin desteklenmesinde güneş sistemimizdeki madde ve enerjinin sınırlarına gelip dayandığımızda da büyümenin temel biçimi olarak dışa doğru gelişme dışında bir seçeneğimiz kalmayacaktır. Daha önce bilgi işlemin daha ayrıntılı ölçeklerinin –atom altı parçacık ölçeklerinin– uygulanabilir olduğu düşüncesini irdelemiştik. Bu tür piko ve femto teknoloji, sürekli küçülen özellik boyutlarıyla bize bilgi işlemde sürekli gelişmeyi sağlayacaktır. Ancak bu uygulanabilir olsa bile nano ölçek altı bilgi işlemin denetlenmesinin çok temel teknik güçlükleri de olacak, yani dışa doğru büyüme zorunluluğu söz konusu olacaktır.

Güneş Sisteminin Ötesine Genişleme. Zekâmızı güneş sisteminin ötesine geçecek kadar genişlettiğimizde bu nasıl bir hızla gerçekleşecektir? Genişleme olası en yüksek hızla başlamayacak; kısa sürede en yüksek hızdan neredeyse belirsiz bir farktaki (ışık hızı ya da üzerindeki) hızına ulaşacaktır. Kimi eleştirmenler, insanların (ya da diğer dünyadışı akıllı yaşamdan gelişmiş organizmaların) ve donanımın parçalanmadan ışık hızına yakın hızla gönderilmesinin çok zor olacağını söyleyerek, bu düşünceye karşı çıktılar. Bu sorunu tabii ki yavaş yavaş hızlanarak ortadan kaldırabiliriz ama yıldızlar arasında devinen malzemeyle çarpışma da bir diğer sorun olacaktır. Ancak bu karşı çıkış da gelişimin bu evresindeki zekânın doğasını gözden kaçırmaktadır. Dünyadışı akıllı yaşamın gökadada ve evrende yayılmış olduğu hakkındaki ilk düşünceler, kendi insan uygarlığımızın göç ve yerleşme kalıplarına dayanıyordu; temelde de insan yerleşimlerinin (ya da diğer dünyadışı akıllı yaşam uygarlıkları söz konusu olduğunda zeki organizmaların) diğer yıldız sistemlerine gönderilmesi söz konusuydu. Bu onların normal biyolojik üremeyle çoğalarak, aynı şekilde buradan da yayılmalarını sağlıyordu.

78 Fabrikalardan sevk edilen yarıiletken çip sayısı 1994 yılında 195,5 milyar adet, 2004 yılında 433,5 milyar adetti. Jim Feldhan, başkan, Semico Araştırma Şirketi, http://www. semico.com.

Ancak, gördüğümüz gibi, dünyadaki biyolojik olmayan zekâ bu yüzyılın sonlarında biyolojik zekâdan trilyonlarca kat daha güçlü olacağı için insanların böylesine bir göreve gönderilmelerinin pek bir anlamı olmayacaktır. Aynısı diğer dünyadışı akıllı yaşam uygarlıkları için de geçerlidir. Burada söz konusu olan, basit biçimde, insanların robotik algılayıcılar göndermeleri değildir. O döneme gelindiğinde insan uygarlıkları pratik nedenlerle tamamen biyolojik olmayacaktır.

Biyolojik olmayan bu gözcülerin çok büyük olması gerekmeyecek, bunlar temelde bilgi içereceklerdir. Ancak bilginin *yalnızca* gönderilmesinin yeterli olmayacağı da doğrudur; çünkü diğer yıldız ve gezegen sistemleri üzerinde fiziksel etkisi olabilecek malzeme tabanlı aygıtların da bulunması gereklidir. Yine de algılayıcıların kendiliğinden kopyalanan nanobotlar olmaları yeterli olacaktır (bir nanobotun nano ölçekte ögeleri olduğunu ama bir nanobotun toplam büyüklüğünün mikronla ölçüldüğünü göz önünde bulundurun).[79] Bunların trilyonlarcasından oluşan sürüleri gönderebiliriz, bu "tohumlardan" bazıları başka bir gezegen sisteminde kök salabilir, sonra da karbon ve diğer gerekli elementler gibi uygun malzemeleri bulup kendilerini kopyalayarak çoğalabilirler.

Nanobot kolonisi kurulduktan sonra kendi zekâsını optimize edebilmek için gereksindiği ek bilgiyi, yalnızca enerji gerektirip, madde gerektirmeyen ve ışık hızında gönderilen saf bilgi sinyallerinden elde edebilir. İnsanlar gibi büyük organizmaların aksine

---

79 Robert Freitas, robot algılayıcı uçların, özellikle kendiliğinden kopyalananların kullanımının önemli bir savunucusu olmuştur. *Bkz.* Robert A. Freitas Jr., "Interstellar Probes: A New Approach to SETI," *J. British Interplanet. Soc.* 33 (Mart 1980): 95–100, http://www.rfreitas.com/Astro/InterstellarProbesJBIS1980.htm; Robert A. Freitas Jr., "A Self-Reproducing InterstellarProbe," *J. British Interplanet. Soc.* 33 (Temmuz 1980): 251–264, http://www.rfreitas. com/Astro/ReproJBISJuly1980.htm; Francisco Valdes ve Robert A. Freitas Jr., "Comparison of Reproducing and Nonreproducing Starprobe Strategies for Galactic Exploration," *J. British Interplanet. Soc.* 33 (Kasım 1980): 402–408, http://www.rfreitas.com/Astro/ComparisonReproNov1980.htm; Robert A. Freitas Jr., "Debunking the Myths of Interstellar Probes," *AstroSearch* 1 (Temmuz–Ağustos 1983): 8–9, http://www.rfreitas.com/Astro/ProbeMyths1983. htm; Robert A. Freitas Jr., "The Case for Interstellar Probes," *J. British Interplanet. Soc.* 36 (Kasım 1983): 490–495, http://www.rfreitas.com/Astro/TheCaseForInterstellarProbes1983. htm.

son derece küçük olan bu nanobotlar ışık hızına yakın bir hızda gidebilirler. Bir diğer senaryo da bilgi sinyallerinden vazgeçilip, gereksinilen bilginin nanobotların kendi belleklerine yerleştirilmesidir. Bu, geleceğin süper mühendislerine bırakabileceğimiz, teknik bir karardır.

Yazılım dosyaları milyarlarca aygıta yayılabilir. Bir ya da birkaçı bir hedefe varıp, kopyalanıp, kendilerine tutunacakları bir yer bulduğunda, artık büyümüş olan sistem yakın çevrede dolaşan nanobotları toplar, böylece o andan itibaren o yöne doğru gönderilmiş nanobotların birçoğu oradan geçip gitmez. Bu yolla, yerleşmiş koloni, zekâsını optimize etmek için gereksindiği bilgiyi, ayrıca dağıtık bilgi işlem kaynaklarını da toplamaya başlayabilecektir.

Işık Hızının Yeniden Ele Alınması. Bu yolla, güneş sistemi büyüklüğündeki bir zekânın (yani II. tip uygarlığın) evrenin diğer bölgelerine maksimum yayılma hızı, ışık hızına çok yakın olacaktır. Şu anda bilginin ve maddesel nesnelerin iletiminde olabilecek en yüksek hızın ışık hızı olduğunu düşünüyoruz, fakat bunun mutlak bir hız olmayabileceği konusunda, en azından ileri sürülmüş olan düşünceler de vardır.

Işık hızını spekülatif olarak görüp, atlatmanın olasılığını da dikkate almamız gerekir; ancak, uygarlığımızın bu yüzyılda geçireceği köklü değişimler hakkındaki tahminlerim böyle bir varsayımı içermez. Bununla birlikte, bu sınırın dolaylarına yerleşen tasarımların potansiyeli, zekâmızla evrenin diğer bölgelerinin kolonileştirilmesinde kullanacağımız bu hız için önemli anlamlar taşır.

Son yıllarda yürütülen deneylerde, konumlarının kuantum belirsizliğinin bir sonucu olarak fotonların yolculuk süresi ışık hızının yaklaşık iki katı olarak hesaplandı.[80] Ancak bu sonuç bu çözümleme için pek yararlı değildir çünkü bilginin ışıktan daha hızlı iletimine izin vermez, oysa bizim temelde ilgilendiğimiz konu iletişimin hızıdır.

Işık hızından yüksek hızlarda seyreder gibi görünen uzaktaki bir eylemin ortaya koyduğu diğer bir ilginçlik de kuantum dola-

80 M. Stenner vd, "The Speed of Information in a 'Fast–Light' Optical Medium," *Nature* 425 (16 Ekim 2003): 695–698. *Ayrıca bkz.* Raymond Y. Chiao vd, "Superluminal and Parelectric Effects in Rubidium Vapor and Ammonia Gas," *Quantum and Semiclassical Optics* 7 (1995): 279.

şıklığıdır. Birlikte oluşmuş iki parçacık "kuantum dolaşık" olabilir; bunun anlamı, her iki parçacıkta da belirlenememiş belli bir özelliğin (örneğin, bulunduğu dönüş evresi), iki parçacıkta da aynı anda çözülmesidir. Başka bir deyişle, eğer belirlenemeyen özellik, parçacıklardan birinde ölçülmüşse, iki parçacık birbirlerinden uzağa gitmiş de olsalar, diğer parçacıkta da aynı anda aynı değerle belirlenecektir. Parçacıklar arasında bir tür iletişim bağlantısı ortaya çıkmaktadır.

Bu kuantum dolaşıklığı birçok kez ışık hızında ölçülmüştür, yani, parçacıklardan birinin durumunun çözülmesi, diğer parçacığın durumunu bu bilginin bir parçacıktan diğerine ışık hızında iletilmiş olması durumunda gerekecek sürenin (kuramsal olarak bu süre sıfırdır) çok küçük bir kesri olan bir sürede çözer gibi görünmektedir. Örneğin, Cenevre Üniversitesinden Dr. Nicolas Gisin, optik fiberler kullanarak kuantum dolaşık fotonları Cenevre'nin farklı noktalarına göndermiştir. Fotonlar birbirlerinden yaklaşık 11 kilometre uzak noktalara vardıklarında, her biri bir cam plakayla kartılar. Her fotonun, ya camın içinden geçmeye ya da çarpıp geri dönmeye "karar vermesi" gerekiyordu (kuantum dolaşık fotonlarla daha önce yapılmış deneyler bunun rastlantısal bir seçim olduğunu göstermiştir). Yine de bu fotonlar kuantum dolaşık oldukları için aynı anda aynı kararı verdiler. Yapılan birçok yinelemede hep aynı sonuç alındı.[81]

Deneyler, gizli bir değişkenin bulunduğu açıklamasını –yani, eş evreli (döngünün aynı noktasında bulunan) parçacıklarda, parçacıklardan biri ölçüldüğünde (örneğin, yoluna cam levhanın içinden mi geçerek yoksa çarpıp dönerek mi devam edeceğine karar vermesi) diğerinin de bu iç değişkenin aynı değerine sahip olduğu ölçülemeyen bir durumu– kesin olarak reddetmemiştir. Yani

81 I. Marcikic vd, "Long–Distance Teleportation of Qubits at Telecommunication Wavelengths," *Nature* 421 (Ocak 2003): 509–513; John Roach, "Physicists Teleport Quantum Bits over Long Distance," *National Geographic News*, 29 Ocak 2003; Herb Brody, "Quantum Cryptography," "10 Emerging Technologies That Will Change the World" içinde *MIT Technology Review*, Şubat 2003; N. Gisin vd, "Quantum Correlations with Moving Observers," *Quantum Optics* (Aralık 2003): 51; Quantum Cryptography sergisi, ITU Telecom World 2003, Cenevre, İsviçre, 1 Ekim 2003; Sora Song, "The Quantum Leaper," *Time*, 15 Mart 2004; Mark Buchanan,"Light's Spooky Connections Set New Distance Record," *New Scientist*, 28 Haziran 1997.

"seçim," iki parçacık arasında gerçekleşen iletişimin sonucunda değil, bu gizli değişkenin tıpkı konumuyla ortaya çıkmaktadır. Ancak birçok kuantum fizikçisi bu yorumu reddetmektedir.

Yine de, bu deneylerin yorumlarının iki parçacık arasındaki bir kuantum bağlantısını gösterdiğini kabul etsek bile, görünen iletişim, bir dosyanın bitleri gibi önceden belirlenmiş bir bilgiyi değil, yalnızca ışıktan hızlı rastlantısallık (kuantumun temel rastlantısallığı) iletmektedir. Ancak, kuantumun rastlantısallığıyla verilen kararların bu biçimde uzayda farklı noktalara iletilmesinin, şifreleme kodlarının sağlanması gibi uygulamalarda bir değeri olabilir. İki farklı konum aynı rastlantısal dizilimi alabilir, bu dizilimi de konumlardan biri bir iletinin şifrelenmesinde, diğer konum da iletinin şifresinin çözülmesinde kullanabilir. Kuantum dolaşıklığını yok etmeden kimsenin bu şifreleme koduna kulak misafiri olması, dolayısıyla belirlemesi mümkün olmayacaktır. Bu ilkeyi kullanan ticari şifreleme ürünleri vardır. Bu, kuantum mekaniğinin bir başka uygulamasının –kuantum bilgi işlem– büyük sayıların hesaplanmasına dayanan (kuantum bilgi işlemin çok sayıda dolaşık kubiti ile iyi yapabileceği) standart şifreleme yöntemlerini sonlandırma olasılığı nedeniyle, kuantum mekaniğinin rastlantısal bir uygulamasıdır.

Yine, ışıktan hızlı bir başka olgu da evrenin genişlemesi sonucunda gökadaların birbirlerinden uzaklaşırken kazanabilecekleri hızdır. Eğer iki gökada arasındaki uzaklık, Hubble uzaklığı olarak adlandırılandan fazla ise, o zaman bu gökadalar birbirlerinden ışıktan daha büyük hızla uzaklaşmaktadırlar.[82] Bu, Einstein'ın Özel Görelilik kuramını çiğnemez; çünkü bu hız, gökadaların uzayda yol almalarıyla değil, bizzat uzayın genişlemesi nedeniyle oluşmaktadır. Ancak bu da bizim bilgiyi ışıktan daha hızlı iletebilmemize yardımcı değildir.

Solucan Delikleri. Işık hızının bilinen sınırını alt edebilmenin yollarını ileri süren iki deneysel varsayım vardır. Bunlardan birincisi, solucan deliklerinin kullanılmasıdır. Burada gerçek anlamda ışıktan hızlı yol alma söz konusu değildir, söylenmek iste-

82 Charles H. Lineweaver ve Tamara M. Davis, "Misconceptions About the Big Bang," *Scientific American*, Mart 2005.

nen yalnızca evrenin topolojisinin, naif fiziğin düşündürdüğü gibi basit biçimde üç boyutlu uzaydan meydana gelmediğidir. Ancak eğer solucan delikleri ya da evrenin katlanmaları her yere yayılmışsa, bu kestirme yollar bizim her yere çabucak varabilmemizi sağlayacaktır. Ya da belki bunları yapmamız bile mümkündür.

1935'te Einstein ile fizikçi Nathan Rosen, elektronları ve diğer parçacıkları küçük uzay–zaman tünelleriyle betimlemenin bir yolu olarak "Einstein–Rosen" köprülerini formüle ettiler.[83] 1955'te fizikçi John Wheeler bu tünelleri "solucan delikleri" olarak tanımlamış, terimi ilk kez olarak kullanmıştır.[84] Wheeler'in solucan delikleri çözümlemesi, bunların temelde uzayın başka bir boyutta eğri olduğunu betimleyen Genel Görelilik kuramıyla tam tutarlı olduğunu ortaya koymuştur.

1988 yılında California Teknoloji Enstitüsü fizikçilerinden Michael Morris, Kip Thorne, Uri Yurtsever, bu tür solucan deliklerinin teknik olarak nasıl yapılabileceğini belli bir ayrıntıyla açıkladılar.[85] Carl Sagan'ın bir sorusuna verdikleri yanıtta, farklı büyüklüklerdeki solucan deliklerini açık tutmanın enerji gereksinimini tanımladılar. Ayrıca, kuantum dalgalanmalarına dayanarak, boş uzay denilen alanın, sürekli olarak atom altı parçacık büyüklüğünde küçük solucan delikleri ürettiğine işaret ettiler. Enerji ekleyip, hem kuantum fiziğinin hem de Genel Göreliliğin (birleşmelerinin zorluğuyla tanınan iki alanın) diğer gereksinimlerini izleyerek, bu solucan deliklerinin, içinden atom altı parçacıklardan büyük nesnelerin geçebileceği kadar genişletilmesi de mümkündü. Solucan deliklerinden insanların geçmesi olanaksız olmayacak ancak zor olacaktı. Oysa yukarıda belirttiğim gibi, aslında yalnızca mikronlarla ölçülen solucan deliklerinden geçebilecek nanobotları ve bilgiyi göndermemiz gereklidir.

Thorne ile doktora öğrencileri Morris ve Yurtsever ayrıca, dünya ile uzak konumlar arasında solucan delikleri oluşturabilecek,

---

83 A. Einstein ve N. Rosen, "The Particle Problem in the General Theory of Relativity," *Physical Review* 48 (1935): 73.

84 J. A. Wheeler, "Geons," *Physical Review* 97 (1955): 511–536.

85 M. S. Morris, K. S. Thorne ve U. Yurtsever, "Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition," *Physical Review Letters* 61.13 (26 Eylül 1988): 1446–1449; M. S. Morris ve K. S. Thorne, "Wormholes in Spacetime and Their Use for Interstellar Travel: A Tool for Teaching General Relativity," *American Journal of Physics* 56.5 (1988): 395–412.

Genel Görelilik ve kuantum mekaniğiyle tutarlı bir yöntem tanımladılar. Önerdikleri yöntem, kendiliğinden oluşmuş atom altı parçacık büyüklüğündeki bir solucan deliğinin, enerji eklenerek daha büyük boyuta genişletilmesi, ardından, bağlı iki "solucan deliği ağzının" süper iletken küreler kullanarak sabitlenmesiydi. Solucan deliği genişletilip sabitlendikten sonra ağızlardan (girişlerden) biri, dünya üzerinde kalan diğer girişe yine bağlantısı olduğu halde başka bir konuma taşınacaktı.

Thorne, uzak girişin küçük bir roket aracıyla yirmi beş ışık yılı uzaktaki Vega yıldızına gönderilmesini bir örnek olarak vermiştir. Işık hızına çok yakın bir hızla bu yolculuk, araç üzerindeki saatlerin ölçümüne göre görece kısa olacaktı. Örneğin, aracın ışık hızının yüzde 99,995'i kadar bir hızla gitmesi durumunda aracın saatleri yalnızca üç ay ilerlemiş olacaktı. Her ne kadar yolculuğun dünya üzerinde ölçülen süresi yirmi beş yıl kadar sürecekse de, uzatılmış solucan deliği iki konum arasındaki doğrudan bağlantıyı koruduğu gibi, iki noktanın zaman içindeki konumlarını da koruyacaktı. Solucan deliğinin iki ucu da birbirlerine olan zamansal ilişkilerini koruyacaklarından, Dünya ile Vega arasındaki bağlantının kurulması, dünyada hissedileceği biçimiyle bile yalnızca üç ay sürecekti. Gerekli teknik iyileştirmelerle bu tür bağlantıların evrenin herhangi bir yerinde kurulması mümkün olacaktı. İsteğe bağlı olarak ışık hızına yakın hızla yol alarak, evrendeki başka noktalarla, milyon kere milyarlarca ışık yılı uzaktaki noktalarla bile bu türden bir bağlantının kurulması için gereken süre –hem iletişim hem ulaşım için– görece kısa olacaktı.

St. Louis'deki Washington Üniversitesinden Matt Visser, Morris–Thorne–Yurtsever'in düşüncesine, solucan deliklerinden insanların bile geçebilmesine olanak tanıyabilecek, daha dengeli bir ortam sağlayacak ayarlar önerdi.[86] Bence buna gerek yoktur. Bu ölçekteki teknik projeler uygulanabilir olabildiğinde insan zekâsı zaten çoktandır biyolojik olmayan bileşeniyle yönetiliyor olacaktır. Moleküler ölçekteki kendiliğinden kopyalanan aygıtların yazılımlarla birlikte gönderilmesi yeterli ve çok daha kolay olacaktır. Anders Sandberg, bir nanometrelik bir solucan deliğinin saniyede

86 M. Visser, "Wormholes, Baby Universes, and Causality," *Physical Review D* 41.4 (15 Şubat 1990): 1116–1124.

10^{69} bit gibi okkalı bir değeri iletebileceğini hesaplamaktadır.[87]

Fizikçi David Hochberg ile Vanderbilt Üniversitesinden Thomas Kephart, Büyük Patlamadan kısa süre sonra kütleçekimin kendi kendilerine dengelerini bulan çok sayıda solucan deliğinin kendiliklerinden oluşabilmesi için gerekli enerjiyi sağlayacak kadar güçlü olduğuna işaret etmektedir.[88]

Büyük bir olasılıkla, bu solucan deliklerinin önemli bir bölümü hâlâ vardır, evrenin eni ve boyunca uzanan engin koridorlar oluşturarak yayılmışlardır. Yenilerini oluşturmaktansa bu doğal solucan deliklerinin bulunup kullanılması daha kolay olacaktır.

Işık Hızının **Değiştirilmesi.** İkinci tahmin, ışık hızının değiştirilmesidir. Üçüncü bölümde son iki milyar yılda ışık hızının 10^8 içinden 4,5 oranında farklılaştığını gösterir gibi duran bir bulgudan söz ettim.

2001'de gökbilimci John Webb, altmış sekiz kuasardan (çok parlak genç gökadalar) gelen ışığı inceleyerek ince yapı değişmezi adı verilen değişmezin değişkenlik gösterdiğini keşfetti.[89] Işığın hızı, ince yapı değişmezinin kapsamındaki dört değişmezden biridir; yani bu durumda elde edilen sonuç, evrendeki koşulların değişmesinin ışığın hızının da değişmesine neden olabileceğinin bir diğer belirtisidir. Cambridge Üniversitesi fizikçilerinden John Barrow ile çalışma arkadaşları, ışık hızında küçük bir değişim oluşturabilecek bir yöntemin olanaklarını sınadıkları, iki yıl sürecek bir masa üstü deney yürütmekteler.[90]

Işık hızının değişebileceğine dair ileri sürülen düşünceler, ışığın hızının evrenin enflasyon döneminde (çok hızlı bir genişleme

---

87 Sandberg, "Physics of Information Processing Superobjects."

88 David Hochberg ve Thomas W. Kephart, "Wormhole Cosmology and the Horizon Problem," *Physical Review Letters* 70 (1993): 2665–2668, http://prola.aps.org/abstract/PRL/v70/i18/ p2665_1; D. Hochberg ve M.Visser, "Geometric Structure of the Generic Static Transversable Wormhole Throat," *Physical Review D* 56 (1997): 4745.

89 J. K. Webb vd, "Further Evidence for Cosmological Evolution of the Fine Structure Constant," *Physical Review Letters* 87.9 (27 Ağustos 2001): 091301; "When Constants Are Not Constant," *Physics in Action* (Ekim 2001), http://physicsweb.org/articles/world/14/10/4.

90 Joao Magueijo, John D. Barrow ve Haavard Bunes Sandvik, "Is It e or Is It c? Experimental Tests of Varying Alpha," *Physical Letters B* 549 (2002): 284–289.

yaşadığı erken dönemlerinde) çok daha yüksek olduğunu söyleyen, yakın döneme ait kuramlarla tutarlıdır. Işık hızında olası değişimleri gösteren bu deneylerin doğrulanmaları gerektiği açıktır. Ayrıca, yalnızca küçük değişimler gösterilmektedir. Ancak, doğrulandıkları takdirde elde edilenler derin bulgular olacaktır çünkü mühendisliğin gördüğü işlev, çok ince bir etkiyi alıp, onun gücünü büyük ölçüde artırmaktır. Yine, şu anda yürütmemiz gereken zihinsel deney, bizim gibi, günümüz bilim insanlarının, mühendisliğin bu işlevini yerine getirip getiremeyecekleri üzerine değil, bunu zekâsını trilyon kere trilyonlarca kat geliştirmiş insan uygarlığının yapıp yapamayacağı üzerine olmalıdır.

Şimdilik, çok yüksek zekâ düzeylerinin ışık hızıyla dışa doğru genişleyeceğini söylememiz mümkündür. Ancak, bir yandan da günümüzün fizik anlayışının, genişlemenin gerçek hızının bu olmayabileceğini ya da ışığın hızının, değişmez olduğu kesin olarak kanıtlansa bile bu sınırın solucan delikleri kanalıyla diğer bölgelere ulaşılmasını kısıtlayamayabileceğini ortaya koyduğu görülmelidir.

Fermi Paradoksunun Yeniden Ele Alınması. Biyolojik evrimin milyonlarca, hatta milyarlarca yılla ölçüldüğünü anımsayın. Yani, eğer dışarıda başka uygarlıklar varsa, gelişmişlik açısından çok geniş zaman dilimlerine yayılmış olacaklardır. SETI varsayımı (tüm gökadalarda) milyarlarca dünyadışı akıllı yaşam olması gerektiğini ileri sürmektedir, yani teknolojik ilerlemişlik düzeyleri bizimkinin çok ilerisinde milyarlarcasının olması gerekir. Yine de bilgi işlemin ortaya çıkışından sonra bu uygarlıkların dışa doğru en az ışık hızında genişlemeleri için en fazla birkaç yüzyıl gereklidir. Dolayısıyla onları nasıl fark etmemiş olabiliriz?

Benim vardığım sonuç, büyük olasılıkla (kesin olmamakla birlikte) böyle uygarlıkların olmadığıdır. Bir başka deyişle, başı biz çekiyoruz. Bu doğrudur; küçük kamyonetleri, ayaküstü yiyecekleri ve aralıksız süregelen çelişkileriyle (ve bilgi işlemiyle!) alçakgönüllü uygarlığımız, evrende karmaşıklığın ve düzenin yaratılmasında başı çekmektedir.

Peki bu nasıl olabilir? Üzerinde yaşam olabilecek gezegenlerin sayısının tamamı düşünüldüğünde bu olasılık dışı değil midir? Gerçekten de olasılık dışıdır. Ama fizik yasaları ve ilişkin

fizik değişmezleri, o kadar incelikle ve tam tamına yaşamın evriminin mümkün olması için tüm gereksinimleri sağlayan evrenimizin varlığı da aynı derecede olasılık dışıdır. Ancak, insancı ilkeye göre, eğer evren yaşamın evrimine izin vermemiş olsaydı, biz orada olup bunu fark etmeyecektik. Ama buradayız. Benzer bir insancı ilkeyle, buradayız ve evrende öncüyüz. Bir kez daha, eğer burada olmasaydık bunu fark etmeyecektik.

Bu bakış açısına karşı birtakım tezleri ele alalım.

Belki dışarıda son derece ileri teknolojiye sahip uygarlıklar var ama biz onların zekâlarının ışık kürelerinin dışındayız. Yani, onlar henüz buralara gelmediler. Peki, bu durumda, biz onları göremediğimiz (ya da duyamadığımız) için de SETI, en azından biz (ya da dünyadışı akıllı yaşamlar), ışığın hızını yukarıda irdelediğim gibi değiştirerek ya da kestirme yollarla kendi ışık küremizin dışına çıkmanın yollarını buluncaya kadar, dünyanın dışındaki akıllı yaşamları keşfedemeyecektir.

Belki de aramızdalar ama bize görünmemeye karar vermişlerdir. Eğer böyle bir karar vermişlerse, büyük olasılıkla bunda başarılı da olacaklardır. Burada da dünyadışı akıllı yaşam uygarlıklarının her birinin aynı kararı vermiş olduğuna inanmak zordur.

John Smart'ın ortaya attığı "aşma" senaryosunda uygarlıklar bulundukları yerel uzay ortamlarını zekâlarıyla doygunluğa eriştirdikten sonra yeni (karmaşıklık ile zekânın aralıksız üstel büyümesine izin veren) bir evren yaratırlar, o zaman da bu evreni gerçekten terk ederler.[91] Smart, bu seçeneğin, gelişiminin ileri bir aşamasına gelmiş olan bir dünyadışı akıllı yaşamın, tutarlı ve kaçınılmaz son olacak kadar çekici olabileceğini, bu nedenle de Fermi Paradoksunu açıkladığını ileri sürmektedir.

Bu arada bilimkurgunun bizi andıran, iriyarı, vıcık vıcık yaratıkların kullandıkları uzay gemilerini daima olasılık dışı bulmuşumdur. Seth Shostak, "Akla yatkın olasılık, saptayabileceğimiz herhangi bir dünyadışı zekânın bizim gibi biyolojik zekâ değil, makine zekâsı olmasıdır," yorumunu yapmaktadır. Bence burada

91 John Smart, "Answering the Fermi Paradox: Exploring the Mechanisms of Universal Transcension," http://www.transhumanist.com/Smart-Fermi.htm. *Ayrıca bkz.* http://singularitywatch.com ve özgeçmişi için, http://www.singularitywatch.com/bio_john-smart.html.

söz konusu olan yalnızca biyolojik varlıkların (bugün bizim yaptığımız gibi) makinelerini uzaya göndermeleri değil, daha çok buraya kadar gelebilecek gelişmişlik düzeyindeki herhangi bir uygarlığın teknolojisiyle birleşme noktasını çoktan geçmiş olması, fiziksel olarak büyük organizmaları ve donanımı göndermeye gereksinimi olmamasıdır.

Eğer varlarsa neden buraya gelsinler? Bir amaç gözlem yapmak (bugün bizim de yeryüzündeki diğer türleri gözlemlediğimiz gibi), bilgi toplamak olabilir. Diğer amaç ise gelişen zekâsının ek altkatmanları için madde ve enerji aramak olabilir. Böyle bir araştırma ve genişleme için (bir dünyadışı akıllı yaşam ya da gelişimin o aşamasına geldiğimizde bizim tarafımızdan) gereksinilecek zekâ ve donanım son derece küçük olacak, temelde nanobot ve bilgi sinyallerinden oluşacaktır.

Güneş sistemimiz henüz bir başkasının bilgisayarına dönüşmemiş gibi görünmektedir. Eğer bu diğer uygarlık bizi yalnızca bilgi edinmek için gözlemliyorsa ve sessiz kalmaya karar vermişse de SETI bunu bulamayacaktır, çünkü eğer gelişmiş bir uygarlık bizim onu bulmamızı istemezse, bu arzusunu başarıyla yerine getirecektir. Böyle bir uygarlığın bizim bugün sahip olduğumuzdan çok daha engin bir zekâya sahip olacağını unutmayın. Belki de kendini bize, biz evrimin bir sonraki aşamasına vardığımızda, tam olarak söylemek gerekirse, biyolojik beyinlerimizi teknolojimizle birleştirdiğimizde, yani Tekillik sonrasında gösterecektir. Yine de SETI varsayımının bu tür çok gelişmiş uygarlıklardan binlercesi olduğunu söylediği göz önüne alındığında, bunların hepsinin de aynı biçimde bizim yolumuzdan çekilme kararı vermiş olmaları olasılık dışıdır.

İnsancı İlkenin Yeniden Ele Alınması. Önümüzde insancı ilkenin iki ilginç olası uygulaması vardır; biri evrenimizin biyoloji dostu olağanüstü yasaları, diğeri de gezegenimizin var olan biyolojisi için.

Önce, evrende geçerli olan insancı ilkeyi daha ayrıntılı ele alalım. Evrenle ilgili sorunun ortaya çıkmasının nedeni doğada var olan değişmezlerin tam da evrenin karmaşıklık ortamında gelişmiş olması için gereksinilenler olduğunu görmüş olmamızdır. Kozmolojik sabit, Planck sabiti ve fizikteki birçok diğer sabit çok küçük değişimle farklı değerler olarak belirlenmiş olsa, atomlar,

moleküller, yıldızlar, gezegenler, organizmalar, insanlar mümkün olmazdı. Evren tam olarak gereken, doğru kurallara ve sabitlere sahip gibi görünmektedir. (Bu durum, Steven Wolfram'ın belli hücresel otomat kurallarının [*bkz.* s. 65'teki kutu içindeki metin] olağanüstü derecede karmaşık ve öngörülemez örüntülerin oluşmasını sağlarken, diğer kuralların, yinelenen ya da rastgele yapılanmayla sıralanmış çizgiler ya da basit üçgenler gibi hiçbir ilginç yanı olmayan örüntülere yol açtığı gözlemini anımsatmaktadır.)

Biyolojik ve teknolojik evrimde giderek arttığını gördüğümüz karmaşıklığı hesaba katan yasalarla madde ve enerji sabitlerinin evrenimizdeki o olağanüstü tasarımını nasıl açıklayabiliriz? Freeman Dyson bir zamanlar, "Evren bir anlamda geleceğimizi biliyordu," yorumunu yapmıştı. Karmaşıklık kuramcısı James Gardner ise sorunu şu şekilde betimlemiştir:

> Fizikçiler, fiziğin görevinin laboratuvarda gerçekleşenleri öngörmek olduğunu düşünür, sicim kuramı ya da M kuramının bunu başarabileceğine inanırlar. ... Ama evrenin ... gözlemlediğimiz 40'tan fazla parametresinin değerleriyle neden standart modele sahip olması gerektiği hakkında hiçbir fikirleri yoktur. İnsan böylesine karmakarışık bir şeyin sicim kuramının eşsiz öngörüsü olduğuna nasıl inanabilir? İnsanların böyle at gözlüğüyle bakmaları, evrenin yalnızca son durumuna odaklanabilmeleri, nasıl ve nereden geldiğini sorgulamamaları beni hayrete düşürüyor.[92]

Evrenin biyolojiye bu kadar "dost" olabilmesinin yarattığı kafa karışıklığı, insancı ilkenin çeşitli formülasyonlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. İnsancı ilkenin "zayıf" biçimi, basitçe, durum böyle olmasaydı, bunu düşünmek için burada olamayacağımızı vurgular. Yani, bu sorunun sorulması bile yalnızca giderek artan karmaşıklığın oluşabildiği bir evrende mümkün olabilir. İnsancı ilkenin daha güçlü biçimleri daha fazlasının olması gerektiğini söylemektedir; bunların savunucuları salt şansa bağlı bir rastlantıyla yetinmemektedirler. Bu, akıllı tasarımın savunucula-

92 James N. Gardner, *Biocosm: The New Scientific Theory of Evolution: Intelligent Life Is the Architect of the Universe* (Maui: Inner Ocean, 2003).

rına, bilim insanlarının Tanrı'nın varlığına dair aradıkları kanıtın bu olduğunu ileri sürebilmelerinin kapısını açmıştır.

Çoklu-evren. Yakın dönemde, güçlü insancı ilkeye daha Darwinci bir yaklaşım ortaya kondu. Matematik denklemlerinin birçok çözümünün olabildiğini düşünün. Örneğin, $x^2 = 4$ denkleminde x'i bulmak istediğimizde, x 2 de olabilir, –2 de. Bazı denklemlerin sonsuz sayıda çözümü olması mümkündür. $(a–b) \times x = 0$ denkleminde $a=b$ ise, (herhangi bir sayının sıfırla çarpımı sıfır olduğundan) x sonsuz sayıdaki değerlerden herhangi birini alabilecektir. Sonuçta, son dönemin sicim kuramları için oluşturulan denklemlerin, prensipte sonsuz sayıda çözüm sağladığı ortaya çıkmaktadır. Daha kesin söylemek gerekirse, evrenin uzaysal ve zamansal çözünürlüğü çok küçük bir değer olan Planck sabitiyle sınırlı olduğuna göre çözümlerin sayısı tam olarak sonsuz değil, yalnızca çok fazladır. Bu nedenle sicim kuramı çok sayıda farklı doğal sabit kümesinin olası olduğunu gösterir.

Bu, çokluevren düşüncesine yol açmıştır: Çok sayıda evrenin var olduğu, bizim alçakgönüllü evrenimizin de bunlardan yalnızca biri olduğu düşüncesi. Sicim kuramıyla tutarlı biçimde, bu evrenlerin her biri farklı bir fiziksel sabitler kümesine sahip olabilmektedir.

Evrilen Evrenler. Sicim kuramını bulan Leonard Susskind ile kuramsal fizik ve kuantum kütleçekim uzmanı Lee Smolin, evrenlerin, doğal sabitleri aşama aşama geliştirerek doğal, evrimsel bir süreç içinde başka evrenlerin oluşmasına neden olduğunu ileri sürdüler. Bir başka deyişle, evrenimizin kural ve sabitlerinin akıllı yaşamın ortaya çıkması için ideal olmaları rastlantı değildir, bu yönde gelişmişlerdir.

Smolin'in kuramına göre yeni evrenlerin oluşmasını sağlayan mekanizma, kara deliklerin oluşumudur, yani kara delikler oluşturmaya en yatkın evrenler üreme olasılığı en yüksek olanlardır. Smolin'e göre artan karmaşıklığı –yani biyolojik yaşamı– en iyi oluşturabilen evren, büyük olasılıkla yeni evrenler oluşturan kara delikleri de yaratacaktır. Smolin'in açıkladığı gibi, "Kara delikler yoluyla üreme, ortak yaşam koşullarına sahip bir çoklu-evrene neden olur; temelde bunun nedeni, yaşamın oluşması için gereken çok

miktarda karbon gibi koşulların aynı zamanda kara delikleri oluşturacak kadar büyük yıldızların oluşumunu da desteklemesidir."[93] Susskind'in önerisi ayrıntıda Smolin'inkinden farklıdır ama aynı şekilde, kara deliklere olduğu gibi, evrenin erken dönemlerinde hızla genişlemesini sağlayan güce, "enflasyonun" doğasına dayanır.

Evrenin Yazgısı Olarak Zekâ. *The Age of Spiritual Machines*'de konuyla ilgili bir düşünce ortaya atmıştım; zekânın, sonunda evrenin her yanında işleyerek evrensel sistemin yazgısını belirleyeceğini söylemiştim:

> Zekâ, evrenle ne kadar ilişkilidir? ... Ortak kanı, *pek fazla olmadığı*dır. Yıldızlar doğar, ölür; gökadalar oluşum ve yok olma döngülerini yaşarlar; evrenin kendisi de bir büyük patlamayla oluşmuştur, bir çatırtı ya da inlemeyle de sona erecektir, hangisi olduğuna henüz emin değiliz. Ama zekânın bununla ilgisi çok azdır. Zekâ, bir köpük parçası, amansız evrensel güçleri oradan oraya fırlatan küçük yaratıkların kabından taşmasıdır. Evrenin dikkatsiz mekanizması ine çıka uzaktaki bir geleceğe doğru gitmektedir, zekânın da bu konuda yapabileceği bir şey yoktur.
>
> Ortak kanı budur. Ama ben aynı düşüncede değilim. Bence zekâ sonunda, o büyük kişiler üstü güçlerden daha güçlü olduğunu kanıtlayacaktır...
>
> Öyleyse evrenin sonu kocaman bir çatırtıyla mı gelecek, ölü yıldızların sınırsız genişlemesiyle mi, yoksa başka bir biçimde mi? Kanımca temel konu, evrenin kütlesi ya da karşıçekimin olası varlığı, ya da Einstein'in sözde kozmolojik sabiti değildir. Daha çok, evrenin yazgısının henüz verilmemiş olan, zamanı geldiğinde de akıllı biçimde ele alacağımız bir karar olmasıdır.[94]

Karmaşıklık kuramcısı James Gardner, benim zekânın evrende gelişimi hakkındaki önerilerimle Smolin ve Susskind'in evrilen ev-

---

93 Lee Smolin, "Smolin vs. Susskind: The Anthropic Principle" içinde, *Edge* 145, http://www.edge.org/documents/archive/edge145.html; Lee Smolin, "Scientific Alternatives to the Anthropic Principle," http://arxiv.org/abs/hep-th/0407213.

94 Kurzweil, *Age of Spiritual Machines*, s. 258–260.

renler kavramlarını birleştirmiştir. Gardner, yavru evrenlerin oluşmasını sağlayanın özellikle akıllı yaşamın gelişmesi olduğu varsayar.[95] Gardner düşüncesini İngiliz gökbilimci Martin Ree'nin "Temel sabitler olarak nitelediklerimiz –fizikçiler için önemli olan sayılar– en derin, en temel düzeyinin dolaysız görünümleri değil, sonul kuramın ikincil sonuçları olabilir" gözlemine dayandırır. Smolin'e göre kara delikler ile biyolojik yaşamın her ikisinin de benzer koşullara (örneğin, büyük miktarlarda karbon) gereksinmeleri salt rastlantıdır; yani Smolin'in düşüncesine göre belli biyoloji dostu koşulların yan ürünü olması dışında, zekâ için biçilmiş özel bir rol yoktur. Gardner'ın düşüncesine göreyse ardıllarını yaratan akıllı yaşamdır.

Gardner, "Biz ve evrendeki diğer canlı varlıklar, milyarlarca gökadaya ve sayısız parseklere yayılmış ve gerçekten kozmik önem taşıyan mucizevi bir görevi üstlenmiş, çok büyük, hâlâ keşfedilmemiş bir dünya ötesi yaşamlar ve zekâlar toplumunun bir parçasıyız. Biyokozmos görüşü altında o toplumla ortak bir yazgıyı –evrenin geleceğini biçimlendirerek onu bir araya toplanmış cansız atomlardan, engin, aşkın bir akla dönüştürmeye yardım etme yazgısını– paylaşıyoruz," der. Gardner'a göre doğanın yasalarıyla tam dengedeki sabitler "DNA'nın kozmik karşılığı olarak işlerler: Gelişen evrenin yaşamı ve olmadığı kadar yetenekli zekâyı üretmek için kullandığı 'reçete'yi sağlarlar."

Benim görüşüm, Gardner'ın zekânın evrendeki en önemli olgu olduğu görüşüyle aynı doğrultudadır. Gardner'ın "milyarlarca gökadaya ve sayısız parseklere yayılmış ... çok büyük, ... dünya ötesi yaşamlar ve zekâlar toplumu" nitelemesine katılmıyorum. Dünya'nın ötesinde böyle bir toplumun var olduğunun kanıtlarını henüz görmedik. Önemli olan yalnızca, bizim buradaki kendi iddiasız uygarlığımız olabilir. Yukarıda belirttiğim gibi, akıllı uygarlıkların her birinin kendini bizden neden gizlemiş olduğuna dair çeşitli nedenler üretebilsek de (örneğin, kendilerini yok etmişlerdir, görünmez kalmaya ya da pusuya yatmaya karar vermişlerdir ya da iletişim kanallarının *tamamında* elektromanyetik sinyalleri kapatmışlardır gibi), (SETI varsayımına göre) orada olması gereken milyarlarca uygarlıktan her birinin görünmez olmak için bir nedeni olduğuna inanmak, pek akla yatkın değildir.

95 Gardner, *Biocosm.*

Sonul Fayda İşlevi. Çoklu-evrendeki her bir evrenin "fayda işlevi" (evrim sürecinde optimize edilen özellik) olan, Susskind ile Smolin'in kara delik düşüncesiyle benim Gardner'la paylaştığım fayda işlevi olan zekâ kavramı arasında kavramsal bir köprü tasarlayabiliriz. Üçüncü bölümde irdelediğim gibi, bir bilgisayarın bilgi işleme gücü, kütlesi ve bilgi işlem verimliliğinin bir fonksiyonudur. Bir kaya parçasının kayda değer bir kütlesi ama son derece düşük bilgi işlem verimliliği (yani, parçacıklarının neredeyse hepsinin yürüttüğü işlemlerin rastlantısallığı) olduğunu anımsayın. Bir insanın parçacıkları arasındaki etkileşimin çoğunluğu da rastlantısaldır, ama logaritmik ölçekte insanlar kabaca bir kaya parçası ile son küçük bilgisayar arasındadır.

Sonul bilgisayar yelpazesindeki bir bilgisayarın bilgi işlem verimliliği çok yüksektir. En uygun bilgi işlem verimliliğine eriştiğimiz zaman bir bilgisayarın bilgi işleme gücünü artırmanın tek yolu, kütlesinin artırılması olacaktır. Kütlesini yeterince artırırsak, kütleçekim gücü de bir kara deliğin içinden yolunu bulabileceği kadar güçlenecektir. Öyleyse bir kara delik yapılacak sonul bilgisayar gibi düşünülebilir.

Bu, elbette herhangi bir kara delik olmayacaktır. Birçok kara delik, çoğu kaya parçası gibi, çok sayıda rastlantısal işlem yürütür ama yararlı bilgi işlem gerçekleştiremez. Ama iyi düzenlenmiş bir kara delik litre başına cps açısından tasarımlanabilen en güçlü bilgisayar olacaktır.

Hawking Işıması. Bir kara deliğin içine bilgi gönderip, bu bilginin yararlı biçimde dönüştürülmesini sağlayıp, bu bilgiyi tekrar kara deliğin içinden geri alıp alamayacağımız uzun zamandır süregelen bir tartışma konusudur. Stephen Hawking'in, kara deliklerden sinyal gönderilmesi düşüncesi, olay ufkunun (kara deliğin yanındaki geri dönülmez, ötesine geçildiğinde madde ve enerjinin kaçamayacağı nokta) yakınında oluşan parçacık–karşı parçacık çiftlerini kullanır. Bu kendiliğinden oluşum ortaya çıktığında parçacık ve karşı parçacıklar uzayın herhangi bir yerinde olduğu gibi, ters yönlere giderler. Eğer çiftin teklerinden biri olay ufkunun içine girerse (bir daha görülmemek üzere), diğeri delikten uzağa kaçacaktır.

Bu parçacıklardan bazıları çekimden kaçabilecek kadar enerjiye sahip olacak, Hawking ışıması adı verilen sonuca ulaşacaklardır.[96] Hawking'in çözümlemesinden önce kara deliklerin siyah renkli olduklarıı düşünülürdü; Hawking'in getirdiği anlayışla aslında sürekli bir enerji parçacıkları akımı yaydıklarını gördük. Ancak Hawking'e göre, olay sınırının yakınındaki rastlantısal kuantum olaylarından kaynaklandığı için, bu ışıma rastlantısaldır. Yani Hawking'e göre bir kara delik son bilgisayarı barındırabilir ama ortaya koyduğu orijinal tasarıma göre hiçbir bilgi kara delikten dışarı kaçamaz, yani bu bilgisayar hiçbir zaman sonuçlarını iletemeyecektir.

1997'de Hawking ile meslektaşı fizikçi Kip Thorne (solucan deliği uzmanı) California Teknoloji Enstitüsünden John Preskill'le iddiaya girdiler. Hawking ile Thorne, kara deliğe giren bilginin yok olacağını, kara deliğin içinde gerçekleşen herhangi bir bilgi işlemin, yararlı olsun olmasın, dışarıya iletilemeyeceğini savunurken, Preskill bu bilginin geri çağırılabileceğini savunuyordu.[97] Kaybeden taraf kazanana, yararlı bilgiler içeren bir ansiklopedi hediye edecekti.

Aradan geçen yıllar boyunca fizik dünyasında ortak kanı Hawking'in tasarımından hızla uzaklaştı; sonunda 21 Temmuz 2004'te Hawking yenildiğini, Preskill'in haklı olduğunu kabul etti: Kara deliğin içine gönderilen bilgi yok olmuyordu. Kara deliğin içinde dönüştürülüp, yeniden dışarı iletilebiliyordu. Bu anlayışa göre, kara delikten dışarı kaçan parçacık, kara deliğin içinde yiten karşı parçacığıyla kuantum dolaşıklığını koruyordu. Eğer kara deliğin içindeki karşı parçacık yararlı bir bilgi işlem yürütürse, o zaman bu sonuçlar kara deliğin dışındaki dolaşık eşi olan parçacığın durumunda kodlanacaktı.

Sonuçta Hawking, Preskill'e cricket sporu hakkında bir ansiklopedi gönderdi ama Preskill bunu geri çevirerek bir beyzbol ansiklopedisi isteğinde ısrar etti; Hawking, uçakla Preskill'in yanına giderek hediyesini törenle verdi.

---

96 S. W. Hawking, "Particle Creation by Black Holes," *Communications in Mathematical Physics* 43 (1975): 199–220.

97 Girdikleri iddianın orijinali şu adrestedir: http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/info_bet.html. *Ayrıca bkz.* Peter Rodgers, "Hawking Loses Black Hole Bet," *Physics World*, Ağustos 2004, http://physicsweb.org/articles/news/8/7/11.

Hawking'in yeni konumunun gerçekten de doğru olduğunu varsayarsak, yapabileceğimiz en son bilgisayarlar kara delikler olacaktır. Bu nedenle, kara delikleri oluşturacak kadar iyi tasarlanmış bir evren, zekâsını da mükemmelleştirebilecektir. Susskind ve Smolin yalnızca hem biyolojinin hem de kara deliklerin aynı tür malzemeyi gereksindiğini, bu nedenle kara delikler için en uygun evrenin biyoloji için de en uygunu olacağını savunuyorlardı. Ancak kara deliklerin zeki bilgi işlemin ulaşabileceği en son kaynak olduğunu görerek, kara delik üretiminin optimizasyonunun fayda işlevi ile zekânın optimizasyonunun fayda işlevinin bir ve aynı olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

Zekâ Neden Fizikten Güçlüdür? İnsancı ilkenin uygulanması için bir neden daha vardır. Gezegenimizin teknolojik gelişmede başı çekmesi son derece olasılık dışı görünebilir, ama yukarıda da işaret ettiğim gibi, zayıf insancı ilkeye göre eğer gelişmiş olmasaydık burada bu konuyu tartışıyor olmazdık.

Zekâ, elde edebildiği madde ve enerjiye doydukça, akılsız maddeyi akıllı maddeye dönüştürür. Akıllı madde fizik yasalarına görünüşte hâlâ uysa da, zekâsı o kadar olağanüstüdür ki madde ve enerjiyi kendi istediği gibi yönetmek için yasaları en ince yönlerine kadar değiştirebilir. Böylece en azından, zekâ fizikten daha güçlü gibi görünecektir. Belirtmem gereken, zekânın kozmolojiden daha güçlü olduğudur. Yani, madde akıllı maddeye dönüştüğü zaman (madde akıllı süreçlere tam doyduğu zaman), artık madde diğer maddeleri ve enerjiyi kendi taleplerine göre (yeterince güçlü mühendislikle) yönlendirebilir. Bu bakış açısı geleceğin kozmolojisi üzerine yapılan tartışmalarda genellikle göz önünde bulundurulmaz. Zekânın, kozmolojik ölçekteki olay ve süreçlerle ilgisi olmadığı varsayılır.

Bir gezegen, teknoloji üreten bir türün eline geçtiği ve o tür bilgi işlemi yarattığı zaman (burada olduğu gibi), o türün bulunduğu ortamdaki madde ve enerjiye doyup, en az ışık hızında dışa doğru genişlemeye (bu sınırı alt edebileceğini gösteren bazı belirtileri dikkate alırsak) başlaması için yalnızca birkaç yüzyıl yeterlidir. Bu tür uygarlıklar o zaman (mükemmel ve engin bir teknolojiyle) kütleçekim ve diğer kozmolojik kuvvetlerin üstesinden gelebi-

lecek –ya da kesin doğrulukla söylemek gerekirse, bu kuvvetleri yönetebilecek– böylece arzu ettiği evreni kurabilecektir. Tekilliğin hedefi budur.

Evrensel Ölçekte Bilgisayar. Uygarlığımızın, evreni büyük çapta gelişmiş zekâsına doyurması ne kadar sürecektir? Seth Lloyd, evrende, kuramsal olarak yaklaşık 10^{90} cps'lik kapasite üst sınırı olmak üzere yaklaşık 10^{80} parçacık olduğunu hesaplamaktadır. Bir başka deyişle, evrensel ölçekte bir bilgisayar bilgiyi 10^{90} cps ile işleyecektir.[98] Bu sonuçlara varmak için Lloyd, maddenin gözlemlenen yoğunluğunu alıp –yaklaşık metreküp başına bir hidrojen atomu– bu değerden evrendeki toplam enerji miktarını hesaplar. Bu rakamı Planck sabitine bölerek yaklaşık 10^{90} cps sonucuna ulaşır. Evren yaklaşık 10^{17} saniye yaşındadır, öyleyse yuvarlanmış değerlerle, evrende bugüne kadar en fazla 10^{107} işlem gerçekleşmiştir. Her parçacığın serbestliğinin her derecesinde (konumu, izlediği yol, dönüşü ve bunun gibi) 10^{10} bit dolayında saklama kapasitesiyle, evrenin durumu zaman içindeki her anda yaklaşık 10^{90} bitlik bir bilgiyi temsil etmektedir.

Evrenin kütle ve enerjisinin tamamını bilgi işleme ayıracağımızı düşünmemiz gerekmez. Eğer yüzde 0,01'ini uygulayacak olsak, hâlâ yüzde 99,99 oranında kütle ve enerji değiştirilmemiş olarak kalacak, bu da yine de yaklaşık 10^{86} cps'lik bir potansiyel sağlayacaktır. Şu an sahip olduğumuz bilgilere göre bu büyüklük kertelerini yalnızca yaklaşık olarak hesaplayabiliriz. Bu düzeylere herhangi bir biçimde yaklaşan zekâ o kadar büyük olacaktır ki korumaya değer olduğunu düşündüğü herhangi bir doğal süreci aksatmadan, bu teknik özelliklerini uygulamaya koyabilecektir.

Holografik Evren. Evrenin maksimum bilgi saklama ve işleme yeteneğine bir diğer bakış açısı da yakın dönemlerde bilginin doğa-

98 Lloyd, bu sonuçlara varmak için maddenin gözlemlenen yoğunluğunu alıp –yaklaşık metreküp başına bir hidrojen atomu– evrendeki toplam enerji miktarını hesaplamıştır. Bu rakamı Planck sabitine bölerek yaklaşık 10^{90} cps bulmuştur. Seth Lloyd, "Ultimate Physical Limits to Computation," *Nature* 406.6799 (31 Ağustos 2000): 1047–1054. Elektronik sürümleri (14 Şubat 2000 tarihli 3. sürüm) şu adresten bulunabilir: http://arxiv.org/ abs/quant-ph/9908043 (31 Ağustos 2000). Şu adres erişim için ödeme istemektedir: http:// www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v406/ n6799/full/4061047a0_ fs.html&content_filetype=PDF.

sı hakkında ortaya atılan, kurgusallığı ağır basan bir kuramdan gelir. "Holografik evren" kuramına göre evren gerçekte, yüzeyine yazılmış iki boyutlu bilgi dizisinden oluşmaktadır, geleneksel üç boyutlu görüntüsü bir yanılsamadır.[99] Bu kurama göre evren aslında dev bir hologramdır.

Bilgi, Planck sabiti tarafından yönetilen çok hassas bir ölçekte yazılıdır. Yani evrende olabilecek en fazla bilgi miktarı, yüzey alanının Planck sabitinin karesine bölümüdür, bu hesap da yaklaşık 10^{120} bit değerini verir. Evrende bu kadar çok bilgiyi kodlayabilecek kadar madde yok gibi görünmektedir, öyleyse holografik evrenin sınırları, gerçekte uygulanabilir olandan çok daha yüksektir. Her durumda bu farklı hesapların büyüklük kertelerinin sayılarının büyüklük kerteleri aynı aralıkta yer alır. Yararlı bilgi işlem yapabilecek biçimde yeniden düzenlenmiş bir evrenin saklayabileceği bit sayısı 10 üzeri 80 ile 120 arasında bir değerdir.

Mühendislik yeteneğimiz, hatta gelecekteki bizlerin çok gelişmiş mühendislik yeteneği bile bu en üst düzeylere erişemeyecektir. İkinci bölümde yirminci yüzyılda bin dolar başına düşen 10^{-5} cps'den 10^{8} cps'ye nasıl ilerlediğimizi ortaya koydum. Yirminci yüzyılda tanık olduğumuz düzgün, çift üstel büyümenin sürekliliğine dayanarak, 2100 yılına kadar bin dolar başına yaklaşık 10^{60} cps'ye erişeceğimizi tahmin ettim. Alçakgönüllü bir yaklaşımla bilgi işleme bir trilyon dolar ayrılacağını düşünürsek bu, bu yüzyılın sonunda toplam 10^{69} cps eder. Bu da güneş sistemimizdeki madde ve enerjiyle elde edilebilir.

10^{90} cps dolaylarına gelmek için evrenin diğer bölgelerine genişlemek gerekecektir. Çift üstel büyüme eğrisinin sürdürülmesi, *eğer* ışık hızıyla sınırlı kalmazsak, yirmi ikinci yüzyılın sonundan çok önce evreni zekâmıza doyurabileceğimizi göstermektedir. Holografik evren kuramının ileri sürdüğü on üstü otuza kadar ek güç doğrulansa bile doygunluğa ancak yirmi ikinci yüzyılın sonunda ulaşabiliriz.

Ayrıca yine, eğer ışık hızının getirdiği sınırları aşabilmemiz mümkün olursa, güneş sistemi ölçeğindeki zekâmızla sahip olacağımız engin zekâ bunun başarılması için gereksinilen mühendis-

99 Jacob D. Bekenstein, "Information in the Holographic Universe: Theoretical Results about Black Holes Suggest That the Universe Could Be Like a Gigantic Hologram," *Scientific American* 289.2 (Ağustos 2003): 58–65, http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=000AF072-4891-1F0A-97AE80A84189EEDF.

lik gücünü tasarlayıp uygulayabilecektir. Bahis oynamam gerekse, paramı ışık hızının aşılmasının mümkün olduğu ve bunu önümüzdeki birkaç yüz yıl içinde gerçekleştirebileceğimiz düşüncesine yatırırdım. Ama henüz bu konuları kesin bir yargıya varacak kadar anlamadığımız için yaptığım yalnızca bir spekülasyondur. Eğer ışığın hızı değiştirilemez bir engelse ve yararlanılabilecek solucan deliklerinin içinden geçen kestirmeler yoksa, evreni zekâmıza doyurmamız yüzlerce değil, milyarlarca yıl sürecek, biz de evren içinde kendi ışık konimizle sınırlı kalacağız. Her durumda, bilgi işlemin üstel büyümesi yirmi ikinci yüzyılda duvara çarpacaktır. (Ama ne duvar!)

Bu büyük fark –yüzlerce yıla karşı milyarlarca yıl (evreni zekâmıza doyurmak için)– ışığın hızının aşılması konusunun neden bu kadar önemli olacağını göstermektedir. Bu, yirmi ikinci yüzyılda uygarlığımızın engin zekâsını meşgul eden en temel düşünce olacaktır. Eğer solucan delikleri ya da başarmamızı sağlayacak diğer yollar uygulanabilirse, bunları bulup kullanmak için çok hevesli olacağımıza inanmamın nedeni budur.

Yeni evrenler kurmak, bunlarla iletişime geçmek mümkünse, bu akıllı bir uygarlığa doğru genişlemeyi sürdürebilmenin yeni yollarını sağlayacaktır. Gardner'ın görüşü, akıllı bir uygarlığın yeni evrenlerin yaratılmasına etkisi, bebek evrenin fizik yasalarının ve sabitlerinin belirlenmesinde yatar. Ancak böyle bir uygarlığın engin zekâsı, yeni evrene doğrudan kendi zekâsını yaymanın yollarını bulabilecektir. Çoklu-evren kuramlarının hiçbiri, temel yasaları ve sabitleri aktarmak dışında, bir evrenden diğerine iletişimi hesaba katmadığından, zekâmızı evrenin ötesine yaymak düşüncesi tabii ki kurgusaldır.

Şu anda bildiğimiz tek evrenle sınırlı olsak bile bu evrendeki madde ve enerjiyi zekâmızla doyurmak kesin yazgımızdır. Peki bu nasıl bir evren olacaktır? Eh, bekleyin, görün.

Molly 2004: *Öyleyse evren Altıncı Evreye [zekâmızın biyolojik olmayan bölümünün evrene dağılacağı evreye] geldiğinde ne yapacak?*

Charles Darwin: *Bunu yanıtlayabileceğimize emin değilim. Dediğin gibi, bu, bakterilerin birbirlerine insanların ne yapacağını sormaları gibi bir şey.*

Molly 2004: *Yani Altıncı Evrenin varlıkları biz biyolojik insanları bakteri gibi görecekler?*

George 2048: *Ben sizin hakkınızda kesinlikle öyle düşünmüyorum.*

Molly 2104: *George sen daha Beşinci Evredesin, o yüzden bunun soruyu yanıtladığını düşünmüyorum.*

Charles: *Bakterilere dönersek, konuşabilselerdi ne söylerlerdi...*

Molly 2004: *...ve düşünürlerdi.*

Charles: *Evet, o da var. İnsanların aynen biz bakterilerin yaptığımız şeyleri yapacaklarını söylerlerdi... yani, yemek yemek, tehlikelerden kaçınmak ve üremek.*

Molly 2104: *Ama bizim üreyişimiz çok daha ilginç.*

Molly 2004: *Aslında, gelecekteki Molly, ilginç olan biz insanların Tekillik öncesi üremesi. Sizin sanal üremeniz aslında bakterilerinkine çok benzer. Cinsellikle hiçbir ilgisi yok.*

Molly 2104: *Cinselliği üremeden ayırdığımız doğru; ama bu 2004'ün insan uygarlığı için yeni bir şey değil. Ayrıca, bakterilerin aksine, biz kendimizi değiştirebiliyoruz.*

Molly 2004: *Aslında siz değişim ve evrimi de üremeden ayırdınız.*

Molly 2104: *Temelde bu da 2004 yılında geçerliydi.*

Molly 2004: *Peki, peki. Ama senin listene gelirsek, Charles, biz insanlar da sanat ve müzik yaratmak gibi şeyler yapıyoruz. Bu bizi hayvanlardan biraz ayırıyor.*

George 2048: *Gerçekten de Molly, Tekillik de temelde bu zaten. Tekillik, en tatlı müzik, en derin sanat, en güzel matematik...*

Molly 2004: *Anlıyorum, yani Tekilliğin müzik ve sanatı benim dönemimin müzik ve sanatı için neyse, 2004 yılının müzik ve sanatı...*

Ned Ludd: *Bakterilerin müzik ve sanatı için o olacaktır.*

Molly 2004: *Eh, bazı sanatsal kalıp örüntülerini gördüm.*

Ned: *Tabii, ama eminim onlara tapınmadın.*

Molly 2004: *Hayır, aslında onları sildim.*

Ned: *İşte, benim söylemek istediğim.*

Molly 2004: *Ben hâlâ Altıncı Evrede evrenin ne yapacağını gözümde canlandırmaya çalışıyorum.*

Timothy Leary: *Evren bir kuş gibi uçacak.*

Molly 2004: *Ama neyin içinde uçacak? Demek istediğim, tamamı o.*

Timothy: *Bu, tek elin nesi var diye sormak gibi bir şey.*

Molly 2004: *Hmmm, demek ki işin başından beri Zen ustalarının aklında olan şey Tekillikmiş.*


Tekillik
Yakında

Yedinci Bölüm

ICH BIN EIN SINGULARITARIAN[*]

Aymazlıkların en yaygını, doğru olmadığı apaçık belli olana tutkuyla inanmaktır.

—H. L. Mencken

Yüzyıllar boyu süregelen geleneklerle kökleşmiş dünya görüşleri, kişisel, düzensel ve toplumsal yaşama dair deneyime dayalı bilgiyi içerir. Birçoğumuz bu geleneklerin eksik yanları olduğunu da düşünür. Bilim öncesi dönemlerde ortaya çıkanların hatalı sonuçlara ulaşmaması nasıl olabilirdi ki? Aynı zamanda, gelişmiş teknolojiler bireyler ve insanlar olarak kimliğimizi değiştirmemizi sağlamaya başlarken, ekonomik, kültürel ve siyasi güçler küresel ilişkileri değiştirirken, eski dünya görüşlerinin karşımıza çıkan temel sorunlar hakkında söyleyecek çok az sözü vardır ya da hiç yoktur.

—Max More, "Principles of Extropy"
["Ekstropinin İlkeleri"]

Dünyanın bir totaliter dogmaya daha gereksinimi yoktur.

—Max More, "Principles of Extropy"
["Ekstropinin İlkeleri"]

Evet, bir ruhumuz var. Ama birçok küçük robottan oluşmuş bir ruh.

—Giulio Giorelli

---

[*] Alm: Ben Bir Tekilciyim –çn.

Çalışmasını ya da bilincini etkilemediği sürece ahlak açısından malzemenin önemi yoktur. Ahlakın bakış açısından birisinin silikon ya da biyolojik nöronlar kullanması fark etmez (tıpkı deri renginin siyah ya da beyaz olmasının fark etmediği gibi). Irk ve tür ayrımcılığını reddettiğimiz aynı nedenlerle karbon şovenizmini ya da biyo ayrımcılığı da reddetmemiz gerekir.

—Nick Bostrom, "Ethics for Intelligent Machines: A Proposal, 2001" ["Akıllı Makinelerin Etiği: Bir Öneri, 2001"]

Felsefeciler, çocuklarının atalarından daha karmaşık bir dünyaya doğduklarını uzun zaman önce gördüler. İvmesi artan değişimin bu erken, belki de bilinçsiz farkındalığı, Batılı geleneğimizin ütopik, apokaliptik ve binyılcı düşüncesinin büyük bölümü için katalizör görevi görmüştür. Ama günümüzün farkı, artık bugün yalnız ileri görüşlülerin değil, o ya da bu düzeyde *herkesin* ilerleme hızının farkında olmasıdır.

—John Smart

Tekilci, Tekilliği anlamış, Tekilliğin kendi yaşamı için ne ifade ettiği üzerine kafa yormuş kişidir.

Ben, birkaç on yıldır bu konuda düşünüyorum. Bu tabii ki asla bitmeyecek bir süreçtir. Düşüncemizin bilgi işlem teknolojileriyle olan ilişkisi üzerine düşünmeye 1960'larda, daha lise yaşlarındayken başladım. 1970'lerde teknolojinin ivmesini incelemeye başlayıp, bu konudaki ilk kitabımı 1980'lerin sonuna doğru yazdım. Yani, bugün birbiri üzerine kurularak ortaya çıkan dönüşümlerin topluma –ve bana– olan etkileri üzerine düşünmeye zamanım oldu.

George Gilder, benim bilimsel ve felsefi görüşlerimi "Dinsel inancın geleneksel nesnesine inancını yitirmiş kişilerin, bunun yerine koyabilecekleri bir görüş," olarak betimledi.[1] Tekillik beklentisi ile geleneksel dinlerin sözünü ettiği dönüşümlere olan beklenti arasında en azından görünürde benzerlikler olması nedeniyle, Gilder'in sözleri anlaşılabilir bir ifadedir.

---

1 Jay W. Richards vd, *Are We Spiritual Machines? Ray Kurzweil vs. the Critics of Strong A.I.* içinde (Seattle: Discovery Institute, 2002), giriş, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0502.html.

Ancak ben bu düşüncelere, geleneksel inanca bir alternatif arayışı sonucunda varmadım. Teknolojinin eğilimlerini anlama arayışımın çıkış noktası oldukça pratik nedenlere dayanır: İcatlarımın doğru zamanlamasını bulup, teknoloji girişimlerim konusunda en iyi taktik kararları verebilmek. Bu teknoloji modelleme biçimi zaman içinde kendi yolunu bularak, beni teknolojik evrim kuramını oluşturmaya yöneltti. Buradan, bu çok önemli değişimlerin toplumsal, kültürel kurumların ve benim kendi yaşamım üzerindeki etkileri hakkında düşünmeye geçmek, çok büyük bir sıçramayı gerektirmedi. Sonuçta, Tekilci olmak bir inanç meselesinden çok bir anlayış meselesi olmakla birlikte, bu kitapta irdelediğim bilimsel eğilimler üzerinde düşünmek, geleneksel dinlerin ele almaya çalıştıkları konulara yeni bakış açılarını kaçınılmaz olarak ortaya çıkarır: Ölümlülüğün doğası ve ölümsüzlük, yaşamlarımızın amacı ve evrende var olan zekâ.

Karşılaştığım insanların çoğu görüşlerimi paylaşmadıklarından, Tekilci olmak benim için çoğu zaman yabancılaştırıcı ve yalnız bir deneyim olmuştur. Çoğu "büyük düşünür" bu büyük düşüncenin varlığından tümüyle habersizdir. İnsanlar, söyledikleri birçok sözde, belirttikleri birçok görüşte genelde insan yaşamının kısa, fiziksel ve düşünsel kapasitemizin sınırlı olduğu, yaşamımız boyunca temel olanın değişmeyeceğiyle ilgili genel görüşün ipuçlarını verirler. İvme kazanan değişimin etkilerinin giderek belirginleşmesiyle, bu dar görüşün de değişeceğini düşünüyorum, ama bu kitabı yazmamın başlıca nedeni, bakış açımı daha fazla kişiyle paylaşabilmektir.

Öyleyse Tekilliğin nasıl bir şey olduğunu düşünüyoruz? Güneşe doğrudan bakmak gibi, Tekilliğe de doğrudan bakmak zordur; gözlerinizi kısarak odaklanmaya çalışmak daha iyidir. Max More'un dediği gibi, gereksindiğimiz son şey bir adet daha dogmadır ve yeni bir külte de gereksinimimiz yoktur; bu nedenle Tekilcilik bir inanç sistemi ya da birleştirilmiş bakış açıları değildir. Temel olarak, ağır basan teknoloji eğilimlerinin anlaşılması, aynı zamanda insanın sağlık ile varsıllığın doğasından, ölüm ile benliğin doğasına kadar her şeyi yeniden düşünmesine neden olan bir içgörüdür.

Bana göre Tekilci olmanın birçok anlamı vardır. Aşağıdakiler bunların küçük bir örneklemesidir. Bu düşünceler benim kişisel bakış açımı belirtir, yeni bir öğreti önermez.

- Şu anda sonsuza kadar uzun yaşayabilmenin yöntemlerine sahibiz.[2] Elimizdeki bilgiler agresif biçimde kullanılarak yaşlanmayı büyük ölçüde yavaşlatacak süreçlere uygulanabilir, böylece biyoteknoloji ve nano teknolojinin bulacağı, yaşamı köklü biçimde uzatan sağaltım yöntemleri ortaya çıkıncaya kadar sağlığımızı koruyabiliriz. Ancak, savaş sonrası nüfus patlaması döneminde doğmuş olanlar, bedenlerindeki yaşlanma süreçlerinin ve bu süreçleri engelleme olanaklarının farkında olmadıklarından buna yetişemeyeceklerdir.
- Bu düşüncenin verdiği güçle biyokimyamı agresif bir biçimde yeniden programlıyorum, sağlığım da bu programı uyguladığımdan beri tümden değişti.[3] Takviye ve ilaç kullanımı, yalnızca yolunda gitmeyen bir şeyler olduğunda başvurulacak son çare değildir. Yolunda gitmeyen bir şeyler zaten vardır. Bedenlerimiz, eskide kalmış dönemlerde gelişmişmişti, artık eskimiş olan genetik programlarla yönetilmektedir, bu nedenle genetik mirasımızı aşmamız gerekmektedir. Şu anda bunu yapmaya başlamamızı sağlayacak bilgimiz var, ben de bunu inanarak uyguluyorum.
- Bedenim geçicidir. Parçacıkları neredeyse her ay değişmektedir. Yalnızca, bedenimin ve beynimin örüntüsünün sürekliliği vardır.
- Beden sağlığımızı en iyi durumuna getirip, aklımızın kapasitesini genişleterek bu örüntüleri iyileştirmeye çalışmamız gerekir. İşin sonunda teknolojimizle birleşerek zihinsel yetilerimizi çok büyük ölçüde genişletebileceğiz.
- Bir bedene gereksinimimiz var, ama MNT üretimini kendi bünyemize yerleştirebildiğimizde bedenlerimizi kendi isteğimizle değiştirebileceğiz.
- İnsan toplumunun kuşaklar boyu mücadele ettiği zorlukların üstesinden gelecek koşulları bize yalnızca teknoloji sağlayabilir. Örneğin, gelişmekte olan teknolojiler temiz ve yenilenebilir enerjiyi elde etmenin ve saklamanın, bedenlerimizi ve çevremizi toksinlerden ve patojenlerden arındırmanın, açlık ve yok-

---

2 Ray Kurzweil ve Terry Grossman, M.D., *Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever* (New York: Rodale Yayınları, 2004).

3 *Age.*

sulluğu alt edecek bilgiye ve zenginliğe ulaşmanın yöntemlerini bize sağlayacaktır.

- Bilgi her biçimiyle değerlidir: Müzik, sanat, bilim, teknoloji, ayrıca bedenlerimizde ve beyinlerimizde yerleşik olan bilgi. Bunların herhangi bir şekilde yitirilmesi çok üzücüdür.
- Salt veri, bilgi değildir. Dünya veri içinde yüzmektedir; zekânın rolü, bunların arasından en önemlilerini bulup işlemektir. Örneğin, duyularımızdan her saniye yüzlerce megabitlik veri akmakta, bunların büyük kısmı akıl yoluyla seçilip atılmaktadır. Yalnızca, tanıyıp kavradıklarımızı, anahtar niteliğindeki her tür bilgiyi tutarız. Yani zekâ, veriyi seçici bir yaklaşımla yıkarak bilgiyi oluşturur.
- Ölüm bir trajedidir. Bir insanı, öldüğü zaman yok olacak olan karmaşık bir örüntü (bir bilgi biçimi) olarak görmek küçültücü değildir. Henüz bu bilgiye erişip yedeklemesini yapamadığımız için, en azından bugünkü durum budur. İnsanlar sevdiklerini kaybettiklerinde kendilerinden bir parçanın gittiğini söylediklerinde, bu mecazi bir ifade değildir; çünkü o kişinin yitirilmesiyle, beynimizin, o kişiyle etkileşimi sağlamak üzere kendiliğinden birleşmiş olan nöron örüntülerini kullanma olanağını da yitirmiş oluruz.
- Geleneksel dinin oynadığı başlıca rollerden biri ölümün rasyonelleştirilmesidir; yani, ölüm trajedisini iyi bir şey olarak açıklamaya çalışmaktır. Malcolm Muggeridge, "Ölüm olmasaydı, yaşam dayanılmaz olurdu," şeklindeki yaygın görüşü dile getirmiştir. Ama sanat, bilim ve Tekilliğin getireceği diğer bilgi biçimleri yaşamı dayanılır olmanın çok ötesine götürecektir; yaşama gerçek bir anlam verecektir.
- Benim görüşüme göre yaşamımın –ve hepimizin yaşamının– amacı, daha büyük bir "düzeni" hedefleyerek, daha fazla bilgiyi yaratıp, bu bilgiyi değerlendirmektir. İkinci bölümde irdelediğim gibi, artan düzen, artan karmaşıklık demektir, ancak kimi zaman güçlü bir kavrayışın düzeni artırırken karmaşıklığı azaltması da olasıdır.
- Bence evrenin amacı, yaşamlarımızla aynı amaca, daha büyük akla ve bilgiye odaklanır. Biz insanların sahip olduğu zekâ ve teknoloji, (dünyadışı rakiplerimizin varlığını bilmediğimiz için) gelişen aklın en uç noktasını oluşturmaktadır.

- Taşma noktasına ulaştıktan sonra, bu yüzyıl içinde zekâmızın, biyolojik olmayan zekânın kendiliğinden kopyalanması sayesinde güneş sistemimiz içinde yayılmasına hazır olacağız. Ardından evrenin geri kalan bölümlerine de yayılacaktır.
- Düşünceler, zekânın somutlaşmış biçim ve ürünleridir. Düşünceler, karşımıza çıkan sorunların çoğunun çözümü için vardır. Çözemediğimiz başlıca sorunlar, dile getiremediklerimiz, çoğu zaman da farkında olmadıklarımızdır. Karşımıza çıkan sorunlarda yaşadığımız temel güçlük bu sorunların doğru sözcüklerle (kimi zaman da denklemlerle) ifade edilmesidir. Bunu başarabildiğimiz zaman, bu türden sorunlarla yüzleşip, her birini çözecek yeteneğe de sahip olacağız.
- Teknolojinin kazandığı ivmenin sağladığı o çok güçlü değerden yararlanabiliriz. Buna önemli bir örnek, "bir köprüyü bir başka köprüye, onu da diğer köprüye" bağlama yoluyla yaşam süresinin esaslı biçimde uzatılmasıdır (günümüzün teknolojisini biyoteknolojiye giden köprü olarak kullanmak, ardından biyoteknolojinin bizi nano teknoloji çağına taşıması).[4] Yaşam süresinin köklü biçimde uzatılması için gerekli tüm bilgiye sahip olmasak da bu, sınırsız bir *şimdide* yaşamanın bir yolunu sunmaktadır. Bir başka deyişle, bütün sorunları bugünden çözmemize gerek yoktur. Geleceğin teknolojilerinin –beş on yıl ya da yirmi yıl içinde– getireceği olanakları öngörüp bunları planlarımıza dahil edebiliriz. Benim teknoloji projelerimi tasarlama yöntemim budur; aynı yöntemi toplumun ve yaşamlarımızın karşısında duran sorunlar için de kullanabiliriz.

Çağdaş düşünür Max More, insanlığın hedefini, "insan ideallerinin yol gösterdiği bilim ve teknolojinin yoluyla elde edilecek" aşkınlık olarak betimler.[5] More, Nietzsche'nin "İnsan, hayvanla Üstinsan arasına gerilmiş bir iptir; uçurum üstünde bir ip," gözlemini aktarır. Nietzsche'nin sözlerinin, ileriye gitme arayışında diğer hayvanların önüne geçtiğimize işaret ettiğini kabul edebiliriz. Nietzsche'nin uçuruma atıfta bulunarak, teknolojinin ba-

4 *Age.*
5 Max More ve Ray Kurzweil, "Max More and Ray Kurzweil on the Singularity," 26 Şubat 2002, http://www.KurzweilAI.net/articles/art0408.html.

rındırdığı, sonraki bölümde irdeleyeceğim tehlikeleri ima ettiğini düşünebiliriz.

More aynı zamanda, Tekillik beklentisinin bugünün konularının ele alınmasında edilgenliğe de yol açabileceği kaygısını belirtir.[6] Yüzyıllardır süregelen sorunların çözümünü sağlayacak olanakların ufukta görünmesiyle birlikte, bugüne ve bugünün dünyasına ait konuların çözümünden uzaklaşma eğilimi ortaya çıkabilecektir. More'un "edilgen Tekilciliğe" olan antipatisini paylaşıyorum. Proaktif bir duruşun bir nedeni de teknolojinin iki tarafı keskin bir kılıç olması, bu durumuyla Tekilliğe doğru hızla akıp giderken bir şeylerin yanlış gidip, çok rahatsız edici sonuçlar doğurması olasılığını daima barındırmasıdır. Gelişmekte olan teknolojilerin uygulanmasında ortaya çıkan çok küçük gecikmeler bile milyonlarca insanı dinmeyen acılara ve ölüme mahkûm edebilmektedir. Buna verilebilecek birçok örnekten biri, yaşam kurtaran sağaltım yöntemlerinin uygulanmasında bürokratik nedenlerle ortaya çıkan gecikmelerin birçok yaşama mal olmasıdır. (Yalnızca kalp hastalıkları nedeniyle her yıl bütün dünyada milyonlarca insan yaşamını yitirmektedir.)

More ayrıca, "din ve kültür tarafından, 'dengeli düzen ve 'barış' için, 'kibirli' olana ve 'bilinmeyen'e karşı teşvik edilen" kültürel başkaldırının, teknolojinin ivmesini rayından çıkarabileceği konusunda da kaygı duymaktadır.[7] Bence teknolojinin genel ilerlemesinde belirgin bir raydan çıkma herhangi bir biçimde olası değildir. Yaşanan (yüz milyonlarca insanın yaşamını yitirdiği) iki dünya savaşı, soğuk savaş ve çeşitli ekonomik, kültürel ve toplumsal ayaklanmalar gibi çağı değiştiren olaylar bile, teknolojinin eğilimlerinde en ufak bir çentik açamamıştır. Ancak bugün giderek daha sıklıkla dile getirilen ve istem dışı, düşünülmeden ortaya atılmış teknoloji karşıtı duyarlılıklar, çekilen acıları şiddetlendirme potansiyelini barındırmaktadır.

Hâlâ İnsan mı? Bazı gözlemciler Tekillik sonrası dönemden "insanlık sonrası" dönem olarak söz eder, bu dönemin beklentisini de "posthümanizm" olarak nitelerler. Bence yine de insan olmanın

6 *Age.*
7 *Age.*

anlamı, sınırlarını genişletmenin yollarını arayan bir uygarlığın parçası olmaktır. Biyolojimizi yeniden programlayıp geliştirecek araçların büyük bir hızla elde edilmesiyle, biyolojimizin ilerisine zaten geçtik. Teknolojiyle değişen bir insanı insan olarak kabul etmezsek, tanımı belirleyen çizgiyi nerede çekmemiz gerekir? Biyonik kalbi olan bir insan hâlâ insan mıdır? Peki ya nörolojik protez taşıyan birisi? İki nörolojik protez? Beyninde on nanobot bulunan birisi? Ya 500 milyon nanobot? Sınırı 650 milyon nanobot olarak mı saptayalım: Bu miktarın altında hâlâ insan, üzerine çıktığında da insan sonrası mı diyelim?

Teknolojimizle birleşmemizin kaygan zeminleri vardır; fakat bunlar yukarı, daha büyük umutlara doğru kayan zeminlerdir, Nietzsche'nin uçurumuna doğru değil. Bazı gözlemciler bu birleşmeden yeni bir "türün" yaratılması olarak söz ederler. Ama tür düşüncesinin temelinde biyolojik bir kavram vardır, bizim yaptığımız ise, biyolojinin aşılmasıdır. Tekilliğin temelinde yatan dönüşüm, uzun bir evrimsel çizginin adımlarından biri daha değildir. Biyolojik evrimi bütünüyle tersine çeviriyoruz.

Bill Gates: *Seninle yüzde 99 aynı kanıdayım. Düşüncelerinin beğendiğim yanı, bilimden kaynaklanmaları ama iyimserliğin neredeyse dinsel bir inanç. Ben de iyimserim.*

Ray: *Evet, doğru, yeni bir dine gereksinimimiz var. Dinin asal rollerinden biri ölümün rasyonelleştirilmesi olmuştur, bugüne kadar elimizden yapıcı başka bir şey de gelmemiştir.*

Bill: *Bu yeni dinin ilkeleri ne olabilir?*

Ray: *İki ilkeyi korumak isteyebiliriz: Bunlardan biri geleneksel dinden, diğeri de laik sanat ve bilimden gelir; geleneksel dinden gelen insan bilincine saygıdır.*

Bill: *Ah, evet, Altın Kural.*

Ray: *Doğru, ahlakımız da, yasal sistemimiz de başkalarının bilincine saygıya dayanır. Ben bir başkasını incitirsem bu ahlak dışıdır, büyük olasılıkla da yasadışıdır; çünkü bilinci olan bir başka insana acı vermişimdir. Eğer mülke zarar verirsem, o mülk bana aitse çoğunlukla sorun çıkmaz. Eğer mülk başkasına aitse, bunun ahlak ve yasadışı olmasının başlıca nedeni mülke zarar vermiş olmam değil, onun sahibi olan kişiye zarar vermiş olmamdır.*

Bill: *Peki laik ilke?*

Ray: *Sanat ve bilimden gelen bilginin önemidir. Bu, enformasyonun ötesinde bir şeydir. Bilinci olan varlıklar için bir anlam ifade eden bilgidir: müzik, güzel sanatlar, yazın, bilim, teknoloji. Bunlar, sözünü ettiğim eğilimlerle gelişecek olan niteliklerdir.*

Bill: *Çağdaş dinlerin süslenmiş, tuhaf öykülerinden uzaklaşıp basit bazı mesajlara odaklanmamız gerekir. Bu yeni dine karizmatik bir lider gerekir.*

Ray: *Karizmatik bir lider eski modelin bir ögesidir. Bu, uzaklaşmak istediğimiz bir şey.*

Bill: *Peki, karizmatik bir bilgisayar o zaman.*

Ray: *Karizmatik bir işletim sistemi olsa?*

Bill: *O zaten var. Peki, bu dinin bir tanrısı var mı?*

Ray: *Henüz yok ama olacak. Evrendeki madde ve enerjiyi zekâya doyurduğumuz zaman "uyanacak," bilinci yerine gelecek, olağanüstü de bir zekâya sahip olacak. Bu, düşünebildiğim tanrıya en yakın şeydir.*

Bill: *Bu silikon bir zekâ olacak, biyolojik değil.*

Ray: *Evet, biyolojik zekâyı aşmış olacağız. Önce onunla birleşeceğiz ama sonunda zekâmızın biyolojik olmayan bölümü ağır basacak. Bu arada büyük olasılıkla silikon olmayacak, karbon nanotüpler gibi bir şey olacaktır.*

Bill: *Evet, anlıyorum –yalnızca insanlar ne olduğunu bildikleri için– bundan silikon zekâ olarak söz ediyorum. Ama sanırım insan gibi bir bilinci olmayacaktır.*

Ray: *Neden olmasın? İnsan beyninde ve bedeninde olup biten her şeyi yeterince ayrıntılı biçimde taklit eder, bu süreçleri başka bir katmanda örnekler, tabii sonra da büyük ölçüde geliştirirsek, neden bilinci olmasın?*

Bill: *Demek bilinci olacak. Yalnızca farklı bir tür bilinci olacağını düşünüyorum.*

Ray: *Belki de aynı fikirde olmadığımız yüzde 1 burada. Neden farklı olsun?*

Bill: *Çünkü bilgisayarlar anında birleşebiliyorlar. On bilgisayar –ya da bir milyon bilgisayar– daha hızlı, daha büyük bir bilgisayara dönüşebilir. Biz insanlar bunu yapamayız. Hepimizin birbirine bağlanamayacak, ayrı bir bireysel varlığı var.*

Ray: *Bu yalnızca biyolojik zekânın getirdiği bir kısıtlama. Biyolojik zekânın birbirine bağlanamayan farklılığı bir artı değer değil. "Silikon" zekâ her ikisini de yapabilir. Bilgisayarların zekâlarını ya da kaynaklarını ortaklaşa kullanmaları şart değildir. İsterlerse "bireyler" olarak kalabilirler. Silikon zekâ, hem birleşerek hem de bireyselliğini koruyarak, aynı zamanda her iki biçimde de var olabilir. İnsanlar olarak biz de başkalarıyla birleşme çabasındayız ama bunu başarma yeteneğimiz çok kısa ömürlü.*

Bill: *Değeri olan her şey kısa ömürlü.*

Ray: *Evet, ama yerini daha değerli bir şeye bırakır.*

Bill: *Doğru, onun için yenilikler icat etmeye devam etmemiz gerekir.*

Can Sıkıcı Bilinç Konusu

Beyni bir değirmen boyutuna büyütüp gezebilseydik, içinde bilinci bulamazdık.

—G. W. Leibniz

İnsan aşkı hiç anımsayabilir mi? Bu, kilerdeki bütün güllerin kokularını bir araya getirmeye çalışmaya benzer. Gülü görebilirsin ama kokuyu asla.

—Arthur Miller[8]

Bu temel konular hakkında ilk ve en basit akıl yürütme çabalarında, insan aslında bir şey bilip bilmediği sorularına takılıp kalır, bildiğini bilir, kendi hakkında düşündüğünde hakkında düşünüldüğünü bilir, düşünmeyi neyin yaptığını bilir. Biri, uzun süre bu sorunla alt üst olup zedelendikten sonra da bu soruları üstelememeyi öğrenir: Bilinçli bir varlık kavramının farkındalığı, mutlak biçimde, bilinci olmayan bir nesneninkinden farklı gerçekleşecektir. Bilinci olan varlığın bir şey bildiğini söylerken yalnızca o şeyi bildiğini söylemeyiz, bildiğini bildiğini de söyleriz, bildiğini bildiğini bildiğini söyleriz, bu, şu soruyu sorana kadar böyle sürer: Görüyoruz ki burada bir sonsuzluk söz konusu, ancak bu kötü anlamda geriye giden bir sonsuzluk değil; çünkü yavaş

8 Arthur Miller, *After the Fall* (New York: Viking, 1964).

yavaş tükenip yok olan yanıtlar değil, anlamsızlaşan sorulardır.

—J. R. Lucas, Oxford'lu felsefeci, 1961 tarihli "Minds, Machines, and Gödel" ["Akıl, Makine ve Gödel"] adlı makalesinden[9]

Düşler var oldukları sürece gerçektir; yaşam için daha fazlasını söylemek mümkün mü?

—Havelock Ellis

Geleceğin makineleri duygusal ve tinsel deneyim yaşama kapasitesine sahip olacak mı? Biyolojik olmayan zekânın, bugün biyolojik insanların sergiledikleri duygusal varsıllık taşıyan davranışların tümünü sergileyebilmesini ele alan birkaç senaryoyu irdeledik. 2020'lerin sonuna gelindiğinde insan beyni üzerinde ters mühendislik çalışmaları tamamlanmış olacak, bu da bizim, insanların, duygusal zekâsı dahil tüm karmaşıklığı ve inceliklerine denk ya da aşan, biyolojik olmayan sistemler yaratmamızı sağlayacaktır.

İkinci bir senaryo, gerçek bir insanın örüntülerinin uygun bir biyolojik olmayan, düşünen katmana yüklenmesidir. Üçüncü ve en zorlayıcı senaryo, doğrudan insanların kendilerinin, aşamalı ama önüne geçilemez biçimde, biyolojikten biyolojik olmayana geçişidir. Bu, sakatlık ve hastalıkları düzeltmek için kullanılan nöron implantları gibi aygıtların iyicil amaçlarla kullanımıyla bugünden başladı. İlk önce tıp ve yaşlanma geciktirici uygulamalarla başlayıp nanobotların kana yerleştirilmesiyle ilerleyecektir. Daha sonra, daha gelişmiş nanobotlar biyolojik nöronlarımızla bir araya gelip duyularımızı geliştirecekler, sinir sisteminin içinden sanal ve gelişmiş gerçekliği yaratacaklar, belleğimizi destekleyecekler, diğer olağan bilişsel görevleri yerine getireceklerdir. O zaman siborg olacağız ve zekâmızın biyolojik olmayan bölümü, beyinlerimizde edindiği bu yerden başlayarak, gücünü üstel artışla geliş-

9 1959'da Oxford Felsefe Derneğinde verilerek sonradan yayımlanan bir bildiriden: "Minds, Machines and Gödel," *Philosophy* 36 (1961): 112–127. Yeniden yapılan birçok baskısından ilki, Kenneth Sayre ve Frederick Crosson, yay. haz., *The Modeling of Mind* (Notre Dame: Notre Dame Üniversitesi Yayınları, 1963), s. 255–271.

tirecek. İkinci ve üçüncü bölümlerde irdelediğim gibi, bilgi teknolojilerinde, fiyat performansı, kapasite ve benimsenme hızı dahil her yönde süregelen üstel büyümeye tanık oluyoruz. Her bitlik bilginin işlenip, iletilmesi için gereken kütle ve enerji miktarının son derece küçük olduğu göz önüne alınırsa (*bkz.* üçüncü bölüm), bu eğilimler, biyolojik olmayan zekâmız, zekâmızın biyolojik bölümünün çok ilerisine geçinceye kadar sürecektir. Biyolojik zekâmızın kapasitesi (biyoteknolojiden gelen oldukça alçakgönüllü miktardaki optimizasyon dışında) özünde sabit olduğuna göre, biyolojik olmayan bölümü sonunda er ya da geç ağır basacaktır. 2040'larda biyolojik olmayan bölüm milyarlarca kat daha yetenekli duruma geldiğinde, bilincimizi hâlâ beynimizin biyolojik bölümüyle mi ilişkilendireceğiz?

Biyolojik olmayan varlıklar da, tıpkı bizim bugün yaptığımız gibi duygusal ve tinsel deneyim yaşadıklarını kuşkusuz iddia edeceklerdir. Biyolojik olmayan varlıklar –biz– insan olduklarını, insanların sahip olduklarını söyledikleri duygusal ve tinsel deneyimlerin tamamına sahip olduklarını iddia edeceklerdir. Üstelik bunlar asılsız iddialar olmayacaktır; bu tür duygularla ilintili türden zengin, karmaşık ve incelikli davranışları ortaya koyacaklardır.

Ancak bu iddia ve davranışların –oldukça zorlayıcı olsalar da– biyolojik olmayan insanların öznel deneyimiyle ilişkisi ne olacaktır? Sonunda hep, son derece gerçek ama sonuçta (kesin nesnel yöntemlerle) ölçülemez bir bilinç sorununa geliyoruz. İnsanlar çoğunlukla bilinçten, varlığın kolaylıkla tanımlanabilen, saptanabilen ve ölçülebilen belirgin bir özelliğiymiş gibi söz ederler. Bilincin neden bu kadar tartışmalı bir konu olduğu şu kavrayışla açıklanabilir:

Varlığını kesin olarak saptayabilecek nesnel bir deney yoktur.

Bilim, nesnel ölçümler ve bu ölçümlerin mantıksal sonuçlarıyla ilgilidir ama tam da nesnelliğin doğası gereği öznel deneyimi ölçmek mümkün değildir; yalnızca onunla ilişkisi olan, davranış gibi unsurları ölçebilirsiniz (davranış dediğimde, iç davranışlar, yani bir varlığı oluşturan nöronlar ve alt bölümleri gibi unsurların eylemlerini de dahil ediyorum). Bu sınırlılık, "nesnellik" ve

"öznellik" kavramlarının doğasıyla doğrudan ilintilidir. Temelde, doğrudan nesnel ölçme yöntemleriyle bir başka varlığın öznel deneyimine sızmamız mümkün değildir. Kuşkusuz, hakkında "Bu biyolojik olmayan varlığın beyninin içine bakın; kullandığı yöntemler tıpkı insan beyni gibi," ya da "Tıpkı insan gibi davranıyor, görüyor musun?" türünden görüşler bildirebiliriz. Ama sonunda, bunlar yalnızca tartışılan düşünceler olarak kalır. Biyolojik olmayan kişinin davranışı ne kadar inandırıcı olursa olsun, kimi gözlemciler, nöro-iletici püskürtmedikleri, DNA'lı protein sentezine dayanmadığı, ya da diğer bazı belirli biyolojik insan özelliklerini taşımadığı sürece, bu tür bir varlığın bilinci olduğunu kabul etmeyi reddedeceklerdir.

Diğer insanların bilinçli olduklarını varsayarız, ancak bu bile bir varsayımdır. Diğer insan dışı varlıkların, örneğin daha üst hayvanların, bilinci hakkında insanlar arasında tam bir görüş birliği sağlanmış değildir. Hayvan hakları konusundaki tartışmaları düşünün. Bu tartışmaların tamamı, hayvanların bilincinin olup olmadığı, eğer yoksa yalnızca "içgüdüleriyle" davranan yarı makine olup olmadıkları çevresinde döner. Geleceğin, hayvanlardan daha çok insana benzer davranışlar ve zekâ gösterecek, biyolojik olmayan varlıklarıyla, konu daha da tartışmalı hale gelecektir.

Gerçekte geleceğin bu makineleri, günümüz insanından daha fazla insana benzeyeceklerdir. Eğer bu paradoksal bir ifade gibi görünürse, günümüzde, çoğu insan düşüncesinin küçük ve türemiş düşünceler olduğunu göz önünde bulundurun. Einstein'ın bir düşünce deneyinden yola çıkarak Genel Görelilik kuramını oluşturma yeteneğine, ya da Beethoven'in hiç duymadığı senfonileri aklında canlandırma yeteneğine hayranlıkla şaşırırız. Ama insan düşüncesinin bu örnekleri en iyi olasılıkla çok enderdir ve geçicidir. (Neyse ki elimizde, insanları diğer hayvanlardan ayıran başlıca yeteneklerini yansıtan bu geçici anların kayıtları var.) Geleceğimizin temelde biyolojik olmayacak bizleri, çok daha zeki olacak, böylelikle insan düşüncesinin daha üstün bu niteliklerini çok daha üst düzeylere çıkaracaktır.

Öyleyse biyolojik olmayan zekânın sahip olduğunu iddia edeceği bilinçle nasıl uzlaşacağız? Pratik bir bakışla, bu tür iddiaların kabul edileceğini söyleyebiliriz. Her şeyden önce, "onlar" biz

olacağız. Bu durumda biyolojik olan ile biyolojik olmayan zekâ arasında kesin bir ayrım olmayacaktır. Ayrıca, biyolojik olmayan bu varlıklar olağanüstü zeki olacaklar, böylelikle diğer insanları (biyolojik olan, olmayan ya da arada bir yerde duranları) bilinçleri olduğu konusunda ikna edecekler. Bugün, insanların bilince sahip olduğuna inanmamızı sağlayan o ince duygusal belirtilerin hepsini göstereceklerdir. Diğer insanları ağlatıp, güldürebilecekler. Başkaları iddialarını kabul etmediğinde de sinirlenecekler. Ancak bu, temelde politik ve psikolojik bir öngörüdür, felsefi bir görüş değil.

Öznel deneyimin var olmadığı ya da sorunsuzca göz ardı edilebilecek önemsiz bir nitelik olduğunu savunanlara itirazım var. Kimin ya da neyin bilinci olduğu konusu ve başkalarının öznel deneyimlerinin doğası, bizim etik, ahlak ve hukuk kavramlarımızın temelini oluşturur. Hukuk sistemimiz büyük ölçüde bilinçlilik kavramı üzerine kurulmuştur, özellikle de (bilinci olan) bir insanın canını yakan –bilinçli deneyimin çok keskin bir biçimidir– ya da bir insanın bilinçli deneyimini sona erdiren (örneğin, cinayet) edimlere çok dikkat etmektedir.

İnsanların, hayvanların acı çekme kapasiteleri konusundaki kararsızlıkları yasalara da yansımıştır. Hayvanlara işkenceye karşı, özellikle de primatlar gibi zekâ düzeyi daha yüksek hayvanlar üzerinde daha fazla duran yasalarımız vardır (gerçi fabrika çiftçiliği uygulamalarının neden olduğu kitlesel hayvan zulmü, kör noktamız gibidir, ama bu başka bir bilimsel incelemenin konusudur.)

Burada savunduğum nokta, bilinç sorununu salt seçkin bir felsefi kaygı olarak, kolaylıkla bırakamayacağımızdır. Sorun, toplumun yasal ve ahlaki temelinin özündedir. Tartışma, bir makine –biyolojik olmayan zekâ– saygı duyulması gereken duyguları olduğu konusunu inandırıcı biçimde kendi başına savunabildiğinde değişecektir. Bunu belli bir mizah anlayışıyla yapabildiği zaman da –bunu yapabilmesi de başkalarını insanlığı konusunda ikna edebilmesinde özellikle önemlidir– büyük olasılıkla tartışma kazanılmış olacaktır.

Hukuk sistemimizde gerçek değişimin yasamadan değil, yasal uygulamalardan kaynaklanmasını bekliyorum çünkü bu tür dö-

nüşümleri ortaya çıkaran çoğu kez yasal uygulamalardır. Yaşanacakların bir ön dalgası olarak, Mahon, Patusky, Rothblatt & Fisher avukatlık bürosunun ortaklarından avukat Martine Rothblatt 16 Eylül 2003'te bir şirketin, bilinci olan bir bilgisayarın fişini çekmesinin engellenmesini talep eden sanal bir başvuruda bulundu. Talep, Uluslararası Barolar Birliğinin konferansının biyosibernetik oturumunda düzenlenen sanal bir duruşmada tartışıldı.[10]

Öznel deneyimin belli unsurlarını ölçebiliriz (örneğin, sesin işitilmesi gibi belli öznel deneyimleri nesnel olarak doğrulayan raporlarla nörolojik etkinliğin belli örüntülerinin nesnel olarak ölçülmesi). Ancak öznel deneyimin özüne nesnel ölçümle inemeyiz. Birinci bölümde belirttiğim gibi, ele alınan, üçüncü kişinin "nesnel" deneyimi –ki bu bilimin temelidir– ile birinci kişinin "öznel" deneyimi –bu da bilinçle eşanlamlıdır– arasındaki farktır.

Başkalarının öznel deneyimlerini gerçek anlamda yaşayabilmemizin olanaksız olduğunu göz önünde bulundurun. 2029'un deneyim yansıtıcı teknolojisi bir kişinin beyninin diğer bir kişinin yalnızca *duyusal* deneyimlerini (ve olanaklara göre duyguların kimi nörolojik unsurları ile deneyimin diğer yönlerini) yaşayabilmesini sağlayacaktır. Ama bu yine de deneyimi yansıtan kişinin yaşadığıyla aynı *içsel* deneyimi getirmeyecektir, çünkü deneyimi yansıtan kişinin beyni farklıdır. Her gün başkalarının deneyimleri hakkında haberler okuruz, bu kişilerin içsel durumlarından kaynaklanan davranışlarına empati de duyabiliriz. Ancak karşımızda yalnızca başkalarının *davranışlarını* gördüğümüz için de onların öznel deneyimlerini yalnızca *tahmin edebiliriz.* Bilincin varlığını dışlayan son derece tutarlı, bilimsel bir dünya görüşünün oluşturulabilmesi mümkün olduğu için de bazı gözlemciler bunun bir yanılsama olduğu sonucuna varırlar.

Sanal gerçekliğin öncülerinden Jaron Lanier ("One Half a Manifesto" ["Bir Manifestonun Yarısı"] adlı bilimsel incelemesindeki "sibernetik bütüncülük" olarak adlandırdığı altı itirazından üçüncüsünde), "öznel deneyimin ya var olmadığı ya da bir tür ortamsal

10 Martine Rothblatt, "Biocyberethics: Should We Stop a Company from Unplugging an Intelligent Computer?" 28 Eylül 2003, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0594.html (sesli görüntüler ve metinlere bağlantı verilmektedir).

ve çevresel etki olduğu için önemsiz olduğunu" savunanlara karşı bir tartışmaya girişir.[11] İşaret etmiş olduğum gibi, bir varlıkla ilintili öznelliği kesin olarak saptayabileceğini kabul edebileceğimiz bir aygıt ya da sistem yoktur. Felsefi varsayımlar, bunu yapabilecek gibi görünen herhangi bir aygıtın ayrılmaz bir parçası olacaktır. Lanier'in incelemesinin büyük bölümüne katılmasam da (*bkz.* dokuzuncu bölüm "Yazılım Eleştirisi"), bu görüşüne katılıyorum, hatta (bu nitelemeye katılmamakla birlikte) benim gibi "sibernetik bütüncülerin" açıklamalarının onda yarattığı düş kırıklığını tahmin edebiliyorum (ve empati duyuyorum!).[12] Lanier gibi ben de öznel deneyim diye bir şey olmadığını savunan kişilerin öznel deneyimlerini bile kabul ediyorum.

Tam da nesnel deneyim konularını nesnel ölçüm ve çözümleme (bilim) yoluyla bütünüyle açımlayamamamız nedeniyle felsefeye çok önemli bir iş düşmektedir. Bilinç, ontolojinin en önemli sorusudur. Her şeye karşın, öznel deneyimin gerçekten var olmadığı bir dünyayı düşünebilirsek (maddenin döndüğü ama bunu yaşayacak bilince sahip herhangi bir varlığın olmadığı bir dünya), o zaman bu dünya da var olmayacaktır. Hem Doğunun (örneğin, belli Budist düşünce okullarında) hem de Batının (özellikle kuantum mekaniğinin gözlemcilerinden gelen yorumları) bazı felsefe geleneklerinin dünyaya bakış biçimi tam da budur.

Ray: *Ne tür varlıkların bilincinin olduğunu ya da olabileceğini tartışabiliriz. Bilincin gelişmekte olan bir özellik mi olduğunu, yoksa biyolojik olsun ya da olmasın belli birtakım mekanizmalardan mı kaynaklandığını tartışabiliriz. Ancak bilinçle ilintili bir başka gizem söz konusudur, belki de en önemlisi.*

Molly 2004: *Can kulağıyla dinliyorum.*

Ray: *Bilinci var gibi görünen bütün insanların gerçekten bilinçli olduklarını bile varsaysak, benim bilincim neden özellikle o kişiyle, yani benimle, ilintilidir? Ben neden özellikle ço-*

11 Jaron Lanier, "One Half of a Manifesto," *Edge*, http://www.edge.org/3rd_culture/lanier/lanier_index.html; *ayrıca bkz.* Jaron Lanier, "One-Half of a Manifesto," *Wired News*, Aralık 2000, http://www.wired.com/wired/archive/8.12/lanier.html.

12 *Age.*

cukken Tom Swift Jr. kitaplarını okumuş, icatlar üzerinde çalışmış olan, gelecek hakkında kitaplar yazan bu kişinin bilincini taşıyorum? Sabahları uyandığımda bu belli kişinin deneyimleriyle uyanıyorum. Neden Alanis Morisette ya da bir başkası olmadım?

Sigmund Freud: *Hmm, demek Alanis Morisette olmak istiyorsun?*

Ray: *Bu ilginç bir teklif, ama söylemek istediğim o değil.*

Molly 2004: *Peki nedir? Anlamıyorum.*

Ray: *Neden özellikle bu kişinin deneyimleri ve kararlarını biliyorum?*

Molly 2004: *Şaşkın, çünkü o sensin.*

Sigmund: *Sanırım kendinle ilgili hoşnut olmadığın şeyler var. Anlat.*

Molly 2004: *Daha önce Ray, genelde insan olmaktan hoşlanmıyordu.*

Ray: *İnsan olmaktan hoşlanmadığımı söylemedim. Sınırlamalarından, sorunlarından ve 1.0 sürümlü bedenimin gerektirdiği büyük bakım işlemlerinden hoşlanmadığımı söyledim. Ama bunların hepsi, burada söylemek istediğim şeyin dışında.*

Charles Darwin: *Senin, neden sen olduğunu mu merak ediyorsun? Bu bir totoloji. Üzerinde düşünülecek fazla bir şey yok.*

Ray: *Bilincin gerçekten "zor" sorunlarını ifade etmeye çalışan birçok girişim gibi bu da anlamsız duruyor. Ama bana gerçekten neyi merak ettiğimi sorarsanız, o da şu: Ben neden sürekli olarak özellikle bu kişinin deneyimleri ve duygularının farkındayım? Diğer insanların bilincine gelince, onları kabul ediyorum ama onların bilinçlerini yaşamıyorum, en azından doğrudan yaşamıyorum.*

Sigmund: *Tamam, resim netleşiyor. Sen başkalarının deneyimlerini yaşamıyorsun. Hiç kimseyle empati konusunu konuştun mu?*

Ray: *Bak, ben bilinçten, çok kişisel bir biçimde söz ediyorum.*

Sigmund: *Güzel, devam et.*

Ray: *Aslında bu, insanlar bilinç konusunu konuşmaya çalıştıklarında olanların tipik bir örneği. Tartışma ister istemez psikoloji, davranış, zekâ ya da sinirbilim gibi başka bir yöne sapıyor. Ancak benim merak ettiğim gizemli konu, neden özellikle bu kişi olduğum.*

Charles: *Kim olduğunu sen yaratırsın, biliyorsun.*

Ray: *Evet, o doğru. Tıpkı beynimizin düşüncelerimizi yarattığı, ardından da düşüncelerimizin beynimizi yarattığı gibi.*
Charles: *Demek ki, kendini sen yaptın, o nedenle de sen sensin.*
Molly 2104: *2104 yılında bunu doğrudan yaşıyoruz. Biyolojik olmadığım için kim olduğumu kolaylıkla değiştirebiliyorum. Daha önce konuştuğumuz gibi eğer canım isterse kendi düşünce örüntülerimi bir başkasınınkiyle birleştirebilir, birleşik bir kimlik yaratabilirim. Çok yoğun bir deneyim.*
Molly 2004: *Peki, geleceğin Molly Hanımı, biz bunu 2004 yılının ilkel ortamında da yapıyoruz. Biz buna âşık olmak diyoruz.*

Ben Kimim? Ben Neyim?

Sen neden sensin?

—1960'ların başlarında büyüme çağımda aktif olarak çalıştığım Genç Dindar Üniteryen Evrenselcilerin kısaltması olan YRUU'nun anıştırdığı soru. (Benim çalıştığım dönemde adı Liberal Dindar Gençlikti [LRY].)

Aradığın şey, kimin aradığı.

—Assisili Aziz Francesco

Çok fazla şeyin farkında değilim
Bildiğimi biliyorum, neyi kastettiğimi biliyor musun?
Felsefe, bisküvi kutusunun üzerindeki sözlerdir.
Din, köpeğin yüzündeki gülümsemedir...
Felsefe kaygan kayalar üzerinde yürümektir. Din sisin içindeki ışıktır...
Ben neysem oyum.
Sen neysen o musun, yoksa nesin?

—Edie Brickell, "What I am" ["Ben Neyim"] adlı parçasından

İrade özgürlüğü, yapmam gereken şeyi seve seve yapabilme yeteneğidir.

—Carl Jung

Kuantum kuramcısının elindeki fırsat, Augustinusçunun etik özgürlüğü değildir.

—Norbert Wiener[13]

13 Norbert Wiener, *Cybernetics: or, Control and Communication in the Animal and the Machine* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1948).

> Sıradan bir ölümdense, o gün gelene kadar birkaç arkadaşımla birlikte bir Madeira fıçısına batırılıp, sevgili ülkemin sıcak güneşinin beni yaşama döndürmesini yeğlerim! Ancak büyük olasılıkla, böyle bir olanağın mükemmelleştirilebilmesi için yeterince gelişmemiş olan bilimin henüz emekleme döneminde olduğu bir yüzyılda yaşıyoruz.
>
> —Benjamin Franklin, 1773

Konuyla bağlantılı ama farklı bir soru kimliklerimizle ilgilidir. Daha önce, bireysel bir aklın örüntülerinin –bilgi, beceri, kişilik, anılar– bir başka katmana yüklenebilmesi potansiyelinden söz ettik. Yeni varlık da tıpkı benim gibi davranacak olsa da, soru yine de geçerlidir: O gerçekten *ben* midir?

Yaşamın köklü biçimde uzatılması konusunda kimi senaryolar, bedenlerimizi ve beyinlerimizi oluşturan sistemlerin ve alt sistemlerin yeniden tasarlanıp kurulmasını öngörür. Bu yeniden yapılma işlemine katılırsam, süreç içinde kendimi yitirir miyim? Bu konu da tekrar yüz yıllık felsefe konuşmalarından önümüzdeki birkaç on yılın acilen çözülmesi gereken pratik sorunlarına dönüşecektir.

Peki, ben kimim? Sürekli değiştiğime göre yalnızca bir örüntü müyüm? Biri bu örüntüyü kopyalarsa ne olur? Ben orijinal mi olurum, kopya mı, yoksa her ikisi de mi? Belki de ben buradaki bu şeyim; bedenimi ve beynimi oluşturan moleküllerden oluşan, hem düzenli hem de karışık bütün.

Ancak bu konumlamada bir sorun vardır. Bedenimi ve beynimi oluşturan belirli parçacıklar kümesi, gerçekte, kısa süre öncesine kadar taşıdığım atom ve moleküllerden tamamen farklı. Çoğu hücremizin birkaç haftada bir kendini yenilediğini, hatta görece uzun süre ayrık hücreler olarak kalabilen nöronlarımızın da yine bir ay içinde moleküllerini yenilediklerini biliyoruz.[14]

Bir mikrotübülün (nöronun yapısını oluşturan protein iplikçiği) yarı ömrü yaklaşık on dakikadır. Dendritlerdeki aktin iplikçik-

14 "How Do You Persist When Your Molecules Don't?" *Science and Consciousness Review* 1.1 (Haziran 2004), http://www.sci-con.org/articles/20040601.html.

leri yaklaşık her kırk saniyede bir yenilenir. Sinapsları çalıştıran proteinler hemen hemen saatte bir yenilenir. Sinapslardaki NMDA reseptörleriyse oldukça uzun bir süre, beş gün kadar yerlerinde kalırlar.

Yani beni oluşturan malzeme bir ay önce olduğumdan tamamen farklı bir malzeme grubu, süregelen şey ise yalnızca bu malzemenin düzenlenme örüntüsü. Ancak bu örüntü de değişmektedir, yavaş ve süreğen biçimde. Daha çok yatağında akarken yoluna çıkan kayaların yanından hızla akıp giden suyun örüntüsü gibiyim. Suyun molekülleri her milisaniyede bir değişmekte ama oluşturduğu örüntü saatlerce, hatta yıllarca sürmektedir.

Belki de bu nedenle, benim, sürekliliğini zaman içinde koruyan bir madde ve enerji örüntüsü olduğumu söylememiz gerekir. Ancak, bedenimi ve beynimi kopyalayarak çoğaltmak için bu örüntüyü, kopyasının orijinalinden ayırt edilemeyeceği kadar kesin bir doğrulukla yükleme olanağını er ya da geç bulacağımıza göre bu tanım bir sorunu da barındırır. (Bu, kopyanın, uygulanacak bir "Ray Kurzweil" Turing testini geçebilmesi anlamına gelir.) Bu nedenle kopya, benim örüntümü paylaşacaktır. Her ayrıntıyı tam doğrulukla oluşturamayacağımızı söyleyerek buna karşı çıkmak mümkündür, ama nöronların ve bedenin kopyasını oluşturma çabalarımız zaman içinde çözünürlüğün ve doğruluğun, tüm bilgi tabanlı teknolojileri etkileyen aynı üstel hızla artmasını sağlayacaktır. İşin sonunda, başlıca sinirsel ve fiziksel ayrıntılarımı arzu edilen doğruluk derecesiyle yakalayıp yeniden oluşturabileceğiz.

Kopya benim örüntülerimi taşısa da kopyanın ben olduğumu söylemek zordur çünkü ben hâlâ oradayımdır ya da hâlâ orada olabilirim. Beni uyurken bile tarayıp kopyalayabilirsiniz. Sabah yanıma gelip, "Haberler iyi Ray, seni daha dayanıklı bir katmanda yeniden oluşturabildik. Artık eski bedenine ve beynine gereksinimimiz kalmadı," dediğinizde sizinle aynı düşüncede olmayabilirim.

Ancak bir düşünce deneyi yürütürseniz, kopyanın tıpkı benim gibi görünüp benim gibi davranacağı açıktır, ama yine de *ben* değildir. Kopyamın oluşturulduğunun farkında bile olmayabilirim. Benim tüm anılarıma sahip olacak, kendini ben olarak anımsayacaksa da, Ray 2, oluşturulduğu andan itibaren kendi özel dene-

yimlerini yaşayacak, gerçekliği benim gerçekliğimden ayrılmaya başlayacaktır.

Bu, kriyoniye göre daha gerçek bir konudur (kriyoni, bir insanın ölümünden hemen sonra dondurularak korunması işlemidir; ölüm sürecinin ilk evresinde, dondurma işleminde oluşan ve kişinin ölümüne neden olan hastalık ya da koşulların neden olduğu zararların tersine çevrilmesini sağlayacak teknoloji elde edildiği zaman o kişinin "yeniden canlandırılması" amaçlanmaktadır). "Korunmuş" bir kişinin sonunda yeniden canlandırıldığını varsayan birçok yöntem, yeniden canlandırılan kişinin temelde yeni malzemeyle, hatta nöromorfik sisteme eşdeğer yepyeni bir sistemle "yeniden oluşturulacağını" belirtmektedir. Bu nedenle de yeniden canlandırılan kişi fiilen "Ray 2" (yani bir başkası) olacaktır.

Bu düşünce zincirini biraz daha izlersek ikilemin nerede ortaya çıktığını göreceksiniz. Beni kopyalayıp orijinalini yok edersek, bu benim sonumdur, çünkü yukarıda saptadığımız gibi kopyam ben değildir. Kopyam, beni inandırıcı biçimde taklit edebileceğinden kimsenin aradaki farkı anlamaması olasıdır; ama bu, yine de benim sonumdur.

Beynimin küçük bir bölümünü nöromorfik eşdeğeriyle değiştirdiğimizi düşünün.

Tamam, yine buradayım: Ameliyat başarılı geçti (bir gün nanobotlar bunu ameliyatsız gerçekleştirecektir). Örneğin koklea implantları, Parkinson hastalığı için implantlar gibi çeşitli implantları taşıyan bu tür insanları bugün de biliyoruz. Şimdi beynimin bir başka bölümünü değiştirin: Bu kez de yine buradayım... ve yine ... sürecin sonunda, yine kendimim. Hiçbir zaman bir "eski Ray" ve bir "yeni Ray" olmadı. Daha önce nasılsam öyleyim. Kendim dahil kimse eksikliğimi hissetmedi.

Ray'in yavaş yavaş Ray'in yerini alması sonuçta ortaya Ray'i çıkaracak, böylelikle bilinç ve kimlik görünürde korunmuş olacaktır. Ancak zaman içinde gerçekleşen değişimle aynı anda bir eski ve bir yeni ben olmayacaktır. Sürecin sonunda yeni ben'e karşılık gelen (Ray 2) var olacak, eski ben (Ray 1) olmayacaktır. Yani, zaman içinde aşamalı değişim, benim sonum anlamına gelmektedir. Bu nedenle, bedenimin ve beynimin hangi noktada bir başkasına dönüştüğünü sorabiliriz.

Bir diğer açıdan (tüm felsefi açılardan bakıyoruz), bu sorunun başında belirttiğim gibi, aslında normal biyolojik süreç gereği sürekli bir değişim geçiriyorum. (Bu arada, bu özellikle çok yavaş bir aşamalı süreç değildir, oldukça hızlıdır.) Belirlediğimiz gibi, kalıcı olan maddemin ve enerjimin uzaysal ve zamansal örüntüsüdür. Ancak yukarıdaki düşünme deneyi, örüntü kalsa bile aşamalı değişimin benim sonum olacağını göstermektedir. Öyleyse benim yerimi, benim birkaç dakika önceki halime çok benzeyen başka birisi mi almaktadır?

Bu noktada bir kez daha, ben kimim? Bu, ontolojinin en son sorusudur, çoğu zaman da bilinç sorunu olarak ele alınmaktadır. Konuyu bilinçli olarak (sözcük özellikle seçilmiştir) birinci tekil kişi olarak ifade ettim çünkü sorunun doğası budur. Bu, bir üçüncü kişi sorusu değildir. Yani benim sorum, siz bunu kendinize sormak isteyebilecek olsanız da, "Sen kimsin?" değildir.

Bilinçten söz ederken insanlar çoğu zaman bilincin davranışsal ve nörolojik unsurlarının (örneğin, bir varlığın kendisi hakkında düşünüp düşünemeyeceği) değerlendirmesine kayıverirler. Ancak bunlar üçüncü kişi (nesnel) konularıdır ve David Chalmers'ın bilincin "zor sorusu" diye nitelediği şeyi, maddenin (beyin) bilinç gibi bu kadar maddesel olmayan bir şeye nasıl neden olabileceği sorusunu temsil etmez.[15]

Bir varlığın bilinci olup olmadığı yalnızca kendisi tarafından anlaşılabilir. Bilincin nörolojik unsurları (akıllı davranış gibi) ile bilincin ontolojik gerçekliği arasındaki fark, nesnel ve öznel gerçeklik arasındaki farktır. İçinde ayrılmaz biçimde felsefi varsayımlar olmadan, nesnel bir bilinç algılayıcısı önerememememizin nedeni budur.

Biz insanların, biyolojik olmayan varlıkların bilinci olduğunu bir gün kabul edeceğimize inanıyorum, çünkü sonunda biyolojik olmayan varlıklar, insanların bugün sahip oldukları, duygusal ve diğer öznel deneyimlerle ilişkilendirdiğimiz tüm incelikli özelliklerin belirtilerini göstereceklerdir. Yine de bu incelikli belirtileri doğrulayabileceğiz; ama olduğu varsayılan bilince doğrudan erişimimiz olmayacaktır.

---

15 David J. Chalmers, "Facing Up to the Problem of Consciousness," *Journal of Consciousness Studies* 2.3 (1995): 200–219, http://jamaica.u.arizona.edu/~chalmers/papers/facing.html.

Birçoğunuzun bana bilinçli gibi göründüğünüzü kabul edeceğim ama bu izlenimi benimsemek için çok acele etmemem gerekir. Belki de gerçekten bir simülasyon ortamında yaşıyorum ve sizler de bunun bir parçasısınız.

Ya da belki var olan yalnızca size ait anılarımdır, bu gerçek deneyimler hiç olmamıştır.

Ya da belki de belirgin anıların anımsanmasıyla oluşan duyumları henüz yeni yaşıyorum ancak ne deneyim ne de anılar gerçekte yoktur. Sanırım sorunu görüyorsunuz.

Bu ikilemlere karşın, kişisel görüşüm yine de örüntücülüğe dayanır; ben, temel olarak zamanda sürekliliğini koruyan bir örüntüyüm. Ben evrilerek gelişen bir örüntüyüm, örüntümün evriminin akışını etkileyebilirim. Enformasyondan farklı olarak bilgi bir örüntüdür, bilginin kaybolması büyük bir kayıptır. Bir insanın kaybı ise olabilecek en büyük kayıptır.

Molly 2004: *Bildiğim kadarıyla kim olduğum çok belli; temelde bu beyin ve beden, en azından* da *bu ay oldukça iyi durumdalar, teşekkür ederim.*

Ray: *Sindirim sisteminde çeşitli parçalanma aşamalarından geçmekte olan besinleri de sayıyor musun?*

Molly 2004: *Peki, onları çıkarabilirsin. Onların kimisi benim bir parçam olacak ama henüz bu kulübe kabul edilmediler.*

Ray: *Bedenindeki hücrelerin yüzde 90'ı senin DNA'nı taşımıyor.*

Molly 2004: *Gerçekten mi? Kimin DNA'sı o zaman?*

Ray: *Biyolojik insanların kendi DNA'larını taşıyan hücreleri on trilyon dolayındadır, ama sindirim sisteminde, çoğu bakteri olan yaklaşık yüz trilyon mikroorganizma bulunur.*

Molly 2004: *Kulağa pek hoş gelmiyor. Bunların hepsi de gerekli mi?*

Ray: *Aslında Molly'yi canlı tutup gelişmesini sağlayan hücreler topluluğunun bir bölümü bunlar. Sağlıklı mide bakterilerin olmadan yaşayamazsın. Bağırsak durumunun dengeli olduğunu varsayarsak, bunlar senin sağlığın için gereklidir.*

Molly 2004: *Tamam da onları ben olarak saymam. Sağlığımın bağlı olduğu pek çok şey var. Örneğin, evim, arabam, ama onları benim bir parçam olarak saymam.*

Ray: *Pekâlâ, sindirim sisteminin içeriğini, bakterileri vesaire tümüyle listeden çıkarmak mantıklı. Aslında beden de buna öyle bakıyor. Bedenin içinde olmasına karşın beden sindi-*

rim sistemini dışında algılıyor ve kana karışan maddeleri dikkatle süzüyor.

Molly 2004: *Üzerinde düşündükçe, Jaron Lanier'in "empati çemberi" sanki hoşuma gitmeye başlıyor.*

Ray: *Devam et.*

Molly 2004: *Temelde, "ben" olarak gördüğüm gerçeklik çemberinin tanımı net değil. Bu, yalnızca bedenimden ibaret değil. Örneğin ayak parmaklarım söz konusu olduğunda kimliğim sınırlı kalıyor, kalın bağırsaklarımın içeriğiyle de bu çok daha daralıyor.*

Ray: *Bu akla yatkın, beynimizin içinde olup bitenin bile ancak çok küçük bir bölümünün farkındayız.*

Molly 2004: *Beynimde sanki başkasına aitmiş, ya da en azında başka yerdeymiş gibi gelen bölümler olduğu doğru. Çoğu zaman sanki başka bir yerden gelen düşünce ve düşlerin farkındalığımı bulandırdığını hissediyorum. Kuşkusuz bunlar kendi beynimden geliyor ama öyle durmuyor.*

Ray: *Diğer taraftan, fiziksel olarak uzakta bulunan sevdiklerimiz o kadar yakın olabiliyor ki sanki bizim bir parçamızmış gibi geliyor.*

Molly 2004: *Benliğimin sınırları giderek bulanıklaşıyor.*

Ray: *Biyolojik olmayan bölümümüz ağır basıncaya kadar bekle. O zaman düşüncelerimizi ve düşünmemizi kendi isteğimizle birleştirebileceğiz, sınırları bulmak daha da zorlaşacak.*

Molly 2004: *Bu aslında kulağa hoş geliyor. Bildiğin gibi bazı Budist felsefeler aramızda doğal olarak hiçbir sınırın olmadığını bile söylüyorlar.*

Ray: *Sanki Tekillikten söz ediyorlar.*

Aşkınlık Olarak Tekillik

Modernlik, insanlığın kendinden aşağıdaki bir şeyden yükseldiğini söyler –yaşam çamurda başlayıp zekâda biter– oysa geleneksel kültürler insanlığın üstlerinden indiğini söyler. Antropolog Marshall Sahlins'in dediği gibi, "Maymunlardan geldiğini varsayan insanlar yalnız biziz. Diğerlerinin hepsi, tanrılardan geldiklerini düşünmeden kabul etmektedirler."

—Huston Smith[16]

16 Huston Smith, *The Sacred Unconscious, video* bant (Zekâ Vakfı, 2001), http://www.fonsvitae.com/sacredhuston.html adresinde satışa sunulmaktadır.

> Bazı felsefeciler felsefeyi, bir sorun, bilim yoluyla çözülebilinceye kadar o sorunun ele alınış biçimi olarak kabul ederler. Diğerleri, bir felsefi sorun ampirik yöntemlere yenik düştüğü takdirde, bunun, o sorunun her şeyden önce felsefi bir sorun olmadığını gösterdiğine inanırlar.
>
> —Jerry A. Fodor[17]

Tekillik, maddesel dünyada yer alacak bir olayı, biyolojik evrimle başlayıp insanın yönettiği teknolojik evrimle gelişen evrim sürecinde kaçınılmaz olan sonraki adımı belirtir. Ancak, insanların tinsellik olarak söz ettiği şeyin başlıca çağrışımı olan aşkınlığı, tam da madde ve enerjinin dünyasında buluruz. O zaman, fiziksel dünyadaki tinselliğin doğasını ele alalım.

Nereden başlamam gerekir? Sudan mı? Oldukça basittir, ama kendini gösterdiği çeşitliliği ve farklı güzellikleri düşünün: Yatağından dalga dalga inip kayaların üstünden akar, sonra bir çağlayandan aşağı kaotik biçimde taşarken sonsuz çeşitlilikle örüntüler oluşturur (bunların hepsi ofisimin penceresinden görünür); sonra, gökyüzünde dalgalanan bulut örüntülerini; karın bir dağın üzerinde yayılma düzenini; tek bir kar tanesinin göz dolduran tasarımını. Ya da Einstein'ın bir bardak sudaki dolaşık düzeni ve düzensizliği açıklamasını (yani, Brown devinimini açıklamasını) düşünün.

Ya da biyolojik dünyanın bir başka yerinde, mitoz bölünme sırasında DNA sarmallarının yaptığı karmaşık dansı ele alın. Peki ya bir ağacın rüzgârda eğilmesiyle yapraklarının birbirlerine dolaşarak yaptıkları dans? Ya da bir mikroskopta gördüğümüz o hareketli dünya? Aşkınlık her yerdedir.

Burada "aşkınlık" sözcüğü için bir açıklama yapmak gerekir. "Aşmak," "ötesine geçmek" demektir, ancak bu bizi gerçekliğin aşkın düzeylerinin (tinsel düzey gibi) bu dünyaya ait olmadığını söyleyen abartılı bir ikiciliği benimsemeye zorlamamalıdır. Örüntülerin gücünü kullanarak maddi dünyanın "olağan" güçlerinin "ötesine" geçmemiz mümkündür. Bir maddeci olarak nitelenmiş olmama karşın, ben kendimi "örüntücü" olarak görüyorum. Aşmamızı sağlayan şey, ortaya çıkan örüntülerin gücüdür. Bizi oluşturan malzeme hızla değiştiğine göre, sürekli olan örüntümüzün aşkın gücüdür.

---

17 Jerry A. Fodor, RePresentations: *Philosophical Essays on the Foundations of Cognitive Science* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1981).

Kalıcı olabilmek için gereken örüntülerin gücü, organizmalar ve kendiliğinden kopyalanan teknolojiler gibi belirgin biçimde kendiliğinden kopyalanan sistemlerin ötesine geçer. Yaşamı ve aklı ayakta tutan, örüntülerin sürekliliği ve gücüdür. Örüntü, onu oluşturan malzemeden çok daha önemlidir.

Tuval üzerindeki rastgele fırça darbeleri yalnızca boyadır. Ama doğru biçimde düzenlendiklerinde, malzemenin ötesine geçip sanata dönüşürler. Rastgele notalar yalnızca sestirler. "Yaratıcı" bir biçimde sıralandıklarındaysa müzik olur. Birtakım bileşenler yalnızca eldeki stokları oluşturur. Sistematik biçimde, belki de bir yazılımın (bir diğer örüntü) katkısıyla düzenlendiklerindeyse teknolojinin "büyüsünü" (aşkınlığını) elde ederiz.

Kimileri "tinsel" olarak adlandırılanın, aşkınlığın gerçek anlamı olduğunu düşünse de, aşkınlık, gerçekliğin tüm düzeylerine işaret eder: Bu, bizler de dahil olmak üzere doğal dünyanın tüm yaratılarını, yanı sıra bizim sanat, kültür, teknoloji ya da duygusal ve tinsel anlatımlar formunda yarattıklarımızı da içerir. Evrimde örüntüler söz konusudur, evrimsel bir süreçte özellikle gelişen örüntülerin derinliği ve düzenidir. Tekillik, içimizdeki evrimin tamamlanması sürecinde, aşkınlığın bu dışavurumlarının tümünü derinleştirecektir.

"Tinsel" sözcüğünün bir diğer anlamı "ruhu olandır," bu da bilinçli olmak demektir. Bilinç –"kişi olma" durumu– birçok felsefe ve din geleneğinde gerçek olan olarak düşünülür. Yaygın bir Budist ontolojisi öznel –bilinçli– deneyimin, *maya* (yanılsama) olan fiziksel ve nesnel olgular değil, sonul gerçeklik olduğunu düşünür.

Bu kitapta bilince dair tartıştığım düşüncelerin amacı, bilincin bu rahatsız edici ve paradoksal (o nedenle de derin) doğasını betimlemektir: Bir dizi varsayımın (yani, düşünce dosyamın bir kopyasının bilincimi paylaştığı ya da paylaşmadığı) sonuçta karşıt olan bir görüşü doğurması ya da böyle bir görüşün bir dizi varsayıma neden olması.

İnsanların bilincinin olduğunu, en azından var gibi göründüğünü kabul ederiz. Yelpazenin diğer yanında ise, basit makinelerin bilincinin olmadığını kabul ederiz. Günümüzün kozmolojik perspektifinden, evren, bilinçli bir varlıktan çok basit bir makine gibi çalışmaktadır. Ancak önceki bölümde irdelediğimiz gibi yakın çevremizdeki madde ve enerji, insan makine uygarlığımızın

zekâ, bilgi, yaratıcılık, güzellik ve duygusal zekâsıyla (örneğin sevme yeteneği) dolacaktır. O zaman uygarlığımız dışarı doğru genişleyerek, karşımıza çıkan tüm akılsız madde ve enerjiyi olağanüstü zeki –aşkın– madde ve enerjiye dönüştürecektir. Yani bir anlamda, Tekillik işin sonunda ruhunu evrene yayacaktır.

Evrim, daha fazla karmaşıklığa, daha fazla inceliğe, daha fazla bilgiye, zekâya, güzelliğe, daha fazla yaratıcılığa ve aşk gibi hassas özelliklere yönelmektedir. Bütün tektanrılı geleneklerde Tanrı da bu niteliklerin tümü olarak, yalnız herhangi bir sınırı olmadan tanımlanmaktadır: Sınırsız bilgi, sınırsız zekâ, sınırsız güzellik, sınırsız yaratıcılık, sınırsız aşk ve benzeri. Evrimin ivme kazanan gelişmesinin düzeyi tabii ki sonsuz değildir, ancak üstel olarak gerçekleşen patlamalarla hızla o yönde ilerlemektedir. Böylece evrim, bu ideale tam olarak ulaşamasa da hiçbir engel tanımadan bu Tanrı kavramına doğru ilerlemektedir. Bu nedenle düşüncemizin biyolojik biçiminin getirdiği ciddi boyutlardaki sınırlamadan kurtuluşunu özünde bir tinsel girişim olarak düşünebiliriz.

Molly 2004: *Tanrı'ya inanıyor musun?*

Ray: *Bu beş harfli bir sözcük ve güçlü bir mem.*

Molly 2004: *Sözcüğün ve düşüncenin var olduğunu biliyorum. Ama bu senin inandığın herhangi bir şeyle ilişkili mi?*

Ray: *İnsanlar bu sözcükle çok şeyi anlatmaya çalışıyor.*

Molly 2004: *Bu şeylere inanıyor musun?*

Ray: *Bunların hepsine inanmak olası değil: Tanrı üstün güçlere sahip, hepimizi gözeten, kartları dağıtan, biraz da öfkelenen bilinçli bir kişi. Ya da, tüm güzelliklerin ve yaratıcılıkların temelinde yatan yaygın yaşam gücü O. Ya da Tanrı her şeyi yaratıp sonra geri çekildi...*

Molly 2004: *Anlıyorum ama bunların herhangi birine inanıyor musun?*

Ray: *Evrenin var olduğuna inanıyorum.*

Molly 2004: *Bir dakika, bu bir inanç değil ki, bilimsel bir gerçek.*

Ray: *Aslında, kendi düşüncelerim dışında herhangi bir şeyin var olduğundan emin değilim.*

Molly 2004: *Tamam, bu bölümdeki görüşünün bu olduğunu anlıyorum; ancak yıldızların, gökadaların varlığını doğrulayan binlerce bilimsel makale okuyabilirsin. Bütün o gökadalar... buna evren diyoruz.*

Ray: *Evet, bunu duydum, bu tür makalelerin bazılarını okuduğumu da anımsıyorum, ancak o makalelerin, benim düşüncemin dışında var olduğundan ya da makalelerin sözünü ettiği şeylerin var olduğundan emin değilim.*

Molly 2004: *Yani evrenin varlığını kabul etmiyorsun?*

Ray: *Hayır, ben yalnızca var olduğuna inandığımı söyledim ama bunun bir inanç olduğuna işaret ediyorum. Bu benim kişisel inanç sıçramamdır.*

Molly 2004: *Peki, ama ben sana Tanrı'ya inanıp inanmadığını sordum.*

Ray: *Bir kez daha söyleyeyim, "Tanrı" insanların farklı anlamlarda kullandıkları bir sözcük. Senin sorunu yanıtlamam gerekirse, Tanrı'nın evren olduğunu düşünebiliriz, ben de evrenin varlığına inandığımı söyledim.*

Molly 2004: *Tanrı yalnızca evren mi?*

Ray: *Yalnızca mı? "Yalnızca" sözcüğüyle nitelemek için fazla büyük bir şey. Bilimin bize anlattıklarını dikkate alırsak –ki aldığımı belirttim– aklımızda canlandırabileceğimiz en büyük olgu.*

Molly 2004: *Aslında birçok fizikçi artık evrenimizin birçok evren arasındaki bir balon olduğunu düşünüyor. Ancak benim söylemek istediğim, "Tanrı" dendiğinde insanların genellikle "yalnızca" maddi dünyadan fazlasını kastettikleriydi. Kimileri Tanrı'yı var olan her şeyle bağdaştırır ama yine de Tanrı'nın bilinçli olduğunu düşünür. O zaman sen bilinçli olmayan bir Tanrı'ya mı inanıyorsun?*

Ray: *Evren –henüz– bilinçli değil. Ama olacak. Tam olarak ifade etmek için bugün çok küçük bir bölümünün bilinçli olduğunu söylememiz gerekir. Ancak bu değişecek, hem de çok yakında. Evrenin son derece zeki hâle geleceğini ve Altıncı Evrede uyanacağını düşünüyorum. Burada ortaya koyduğum tek inanç, evrenin var olduğu inancıdır. Bu inanç sıçramasını gerçekleştirirsek, uyandıracağı beklenti pek inanç gibi değil, daha çok, bir evrenin var olduğunu söyleyen bilimden gelen bilgiye dayalı bir anlayış olacaktır.*

Molly 2004: *İlginç. Biliyor musun, bu söylediğin temelde her şeyi başlatıp sonra bir anlamda "sahneden çekilen" bilinçli bir yaratıcının olduğunu söyleyen görüşün tam tersi. Sense temelde bilinçli evrenin Altıncı Evrede "sahneye gireceğini" söylüyorsun.*

Ray: *Evet, Altıncı Evrenin özü bu.*

Sekizinci Bölüm

GNR'NİN GİRİFT UMUT VE TEHLİKELERİ

Hiçbir plan, denetim, fren olmadan bu yüzyıla hızla giriyoruz ... Gördüğüm tek gerçekçi alternatif, vazgeçmek: Belli türdeki bilgiyi arayışımızı sınırlayarak fazlasıyla tehlikeli olan teknolojilerin gelişmesinin sınırlandırılması.

—Bill Joy, "Why the Future Doesn't Need Us" ["Gelecek Bizi Neden Gereksinmez"]

Artık çevrecilerin doğrudan, dünyada yeterince varsıllık ve yeterince teknolojik olanak olduğu düşüncesiyle mücadele etmeleri, daha fazlasını aramamaları gerekir.

—Bill McKibben, küresel ısınma hakkında yazan ilk çevreci[1]

İlerleme belki bir zamanlar iyiydi ama çok uzun sürdü.

—Ogden Naslı (1902–1971)

1960'ların sonlarında radikal çevreci eylemciye dönüştüm. Ayaktakımından oluşan bir grup eylemciyle birlikte Başkan Nixon'un döneminde yürütülen son hidrojen bombası deneylerini engellemek için her yanı dökülen bir balıkçı teknesiyle Kuzey Pasifik'i geçtik. Bu süreçte Greenpeace'in kurucuları arasında yer aldım. ... Balinaları kurtarmak, havayı ve suyu temizlemek gibi iyi işler yaparken çevreciler

1 Bill McKibben, "How Much Is Enough? The Environmental Movement as a Pivot Point in Human History," Çevre Değerleri Üzerine Harvard Semineri, 18 Ekim 2000.

çoğu zaman akla yatkın görünen tezler üretebiliyorlardı. Ama artık bir tıkanma noktasına geldiler. Çevrecilerin genelde biyoteknoloji karşıtı, özelde de genetik mühendisliği karşıtı kampanyaları, düşünce ve ahlaklarının iflasını açıkça ortaya koydu. İnsanlık ve çevreye bu kadar çok yararı olan bir teknolojiye karşı hiçbir hoşgörüsü olmayan bir politikanın benimsenmesi, onların ... kendilerini bilim insanlarından, aydınlardan ve enternasyonalistlerden soyutlamalarına neden oldu. Durdukları yerin çılgınlığını medya ve toplumun zaman içinde görmeleri kaçınılmazdır.

—Patrick Moore

Teknolojiden uzaklaşmanın, nefret etmenin kendini engellemek olduğunu düşünüyorum. Buda, bir sayısal bilgisayarın devreleri ve devre sinyallerinin çarkları üzerinde de tıpkı bir dağın tepesinde ya da çiçeğin yaprakları üzerindeki kadar rahat oturur. Başka türlü düşünmek Buda'nın alçaltılması demektir, bu da insanın kendini alçaltması anlamına gelir.

—Robert M. Pirsig, *Zen and the Art of Motorcycle Maintenance*

Ağ üzerinde bulmak istemeyeceğimiz şu makaleleri düşünün:

Düşmanlarınızı Etkileyin: Hazır Malzemeyle Kendi Atom Bombanızı Nasıl Yaparsınız[2]

Fakültenizin Laboratuvarını Kullanarak Grip Virüsünü Yılan Zehri Yayacak Biçimde Nasıl Değiştirirsiniz

---

* *Zen ve Motosiklet Bakım Sanatı*, çev. Süha Sertabiboğlu, Ayrıntı Yayınları, 1995 –çn.

2 1960'larda yürüttüğü bir deneyde ABD hükümeti üç yeni mezun fizik öğrencisinden yalnızca yayımlanmış bilgileri kullanarak nükleer silah yapmalarını istedi. Sonuç başarılı oldu; bu üç öğrenci, yaklaşık üç yılda nükleer silah yaptılar (http://www.pimall. com/nais/nl/n.nukes.html). Atom bombası yapımının planları internetten bulunabilmekte, ayrıca bir ulusal laboratuvar tarafından kitap olarak da yayımlandı. 2002'de İngiltere Savunma Bakanlığı, bomba yapımının ölçüleri, çizimleri ve tam ayrıntılarını İngiltere'nin Ulusal Arşivlerine verdi, ancak o dönemden bu yana arşivlerden çıkarıldı (http://news.bbc.co.uk/1/hi/ uk/1932702.stm). Bu bağlantılar atom silahları yapımının planlarını içermemekte.

Koli Basilini Değiştirmenin On Basit Yolu

Çiçek Hastalığının Aşıya Direncini Nasıl Artırırsınız?

İnternette Bulacağınız Malzemeyle Kendi Kimyasal Silahlarınızı Yapın

Ucuz Bir Uçak Gövdesi, GPS ve Dizüstü Bilgisayar Kullanarak Pilotsuz, Kendini Yöneten, Alçaktan Uçan Uçak Nasıl Yapılır

Ya da şunları:

On Büyük Patojenin Genomları

Önemli Gökdelenlerin Mimari Planları

Amerika'nın Nükleer Reaktörlerinin Yerleşim Planları

Modern Toplumun Yüz En Büyük Hassasiyeti

İnternetin On En Zayıf Yönü

Yüz Milyon Amerikalının Kişisel Sağlık Bilgileri

En Büyük Pornografi Sitelerinin Müşteri Listeleri

Yukarıdaki ilk yazıyı internete koyan kişiyi FBI'ın hemen ziyaret edeceği kesin gibidir; tıpkı Mart 2000'de on beş yaşındaki lise öğrencisi Nate Ciccolo'yu ziyaret ettiği gibi. Ciccolo'nun, fen ödevi için kâğıt hamurundan yaptığı atom bombası maketi rahatsız edici düzeyde gerçekçiydi. Olayın ardından medyada kopan fırtınada Ciccolo ABC News'a şu açıklamayı yaptı: "Birisi laf arasında artık internete girip bilgiyi bulabileceğimi söyledi. Ben de bunları o kadar yakından izlemiyorum. Denedim. Söylediği yere gittim ve birkaç tıklamayla buluverdim."[3]

Ciccolo'nun tabii ki ne kilit bileşen olan plütonyumu ne de bu maddeyi bulmak gibi bir niyeti vardı, ama haber, medyada olduğu gibi nükleer silahların yayılmasından kaygı duyan yetkililer arasında da şok dalgası yarattı. Ciccolo, atom bombası tasarımı hakkında 563 web sitesi bulduğunu söylemişti. Açıklaması, bu sitelerin kaldırılması için yoğun bir çalışmayı başlattı. Ne yazık ki internette bulunan bilgilerin temizlenmesi, okyanusu süpürgeyle

3 "The John Stossel Special: You Can't Say That!" *ABC News*, 23 Mart 2000.

temizlemek gibi bir şey. Sitelerden bazılarına bugün hâlâ kolaylıkla erişmek mümkün. Bu kitapta herhangi bir URL bilgisi vermeyeceğim ama bulunmaları zor değil.

Yukarıda yazılan makale başlıkları uydurma da olsa internet üzerinden bu konularda kapsamlı bilgi bulmak mümkün.[4] Ağ, olağanüstü bir araştırma aracıdır. Daha önceden kütüphanede yarım günlük bir çalışma gerektiren araştırmalarımı artık genelde birkaç dakikada, hatta daha kısa sürelerde yapabiliyorum. Faydalı teknolojilerin gelişimine çok büyük ve çok açık yararları olmakla birlikte bu olanak, değerleri toplumun geneline zararlı olan kişilerin gücünü de artırabilmekte. Peki, tehlike altında mıyız? Yanıt kuşkusuz evettir. Tehlikenin boyutu ve bunun için ne yapabileceğimiz bu bölümün konularıdır.

Benim bu konudaki kaygılarım en az yirmi, otuz yıl eskiye uzanır. 1980'lerin ortalarında *The Age of Intelligent Machines*'i yazdığım sırada, o dönemde gelişmekte olan genetik mühendisliğinin, bakteriyel ve viral patojenleri yeni hastalıklara yol açacak biçimde değiştirecek bilgiye sahip ve gerekli araçlara kolaylıkla erişebilen kişilere sağladığı olanaklar konusunda çok kaygılıydım.[5] Üretilen bu patojenler kötü niyetli ya da yalnızca dikkatsiz ellere düştüğünde, bir araya gelip yayılma, sinsilik ve yıkıcılık barındıran özelliklerle etkinleşebilirdi.

---

4 Bomba, silah ve patlayıcı yapımını anlatan askeri el kitapları dahil, ağ üzerinde kapsamlı bilgiler yer almaktadır. Bu bilgilerden kimisi yanlıştır, ama tüm kaldırma çabalarına karşın doğru bilgiler de hâlâ erişilebilir konumdadır. 1997 Haziranında ABD Kongresi, Savunma Bakanlığının tahsisat yasasıyla ilgili olarak, bomba yapımı yönergelerinin yayınını yasaklayan bir yasa değişikliğini (Feinstein Değişikliği, SP 419) kabul etmiştir. *Bkz.* Anne Marie Helmenstine, "How to Build a Bomb," 10 Şubat 2003, http://chemistry.about.com/ library/weekly/aa021003a.htm. Zehirli endüstriyel kimyasallar hakkında bilgi ağ üzerinde ve kütüphanelerde yaygın olarak yer aldığı gibi, bakteri ve virüs üretiminin araçları, bilgisayar virüsleri yaratma teknikleri, bilgisayarlara ve ağlara korsan erişim teknikleri de buralarda bulunmakta. Zarar verme niyetindeki kişilere ve gruplara yararlı olabilir düşüncesiyle benim bu türden bilgilere belirli örnekler vermediğime dikkat edin. Bu tür bilginin erişilebilirliğinin belirtilmesinin bile bu potansiyeli taşıdığının farkındayım ama bu konuda açık bir diyaloğun getireceği yararların bu kaygıdan daha fazla olduğunu sanıyorum. Ayrıca, bu tür bilginin erişilebilirliği medyada ve diğer ortamlarda geniş olarak tartışılmıştır.

5 Ray Kurzweil, *The Age of Intelligent Machines* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1990).

1980'lerde bu tür girişimler kolay olmamakla birlikte, mümkündü. O dönemde Sovyetler Birliği'nde ve diğer yerlerde yürütülen biyolojik silah programlarında yapılanların bu olduğunu artık biliyoruz.[6] O zaman bilinçli olarak, yanlış insanların önüne yıkıcı düşünceler koymamak için kitabımda bu korkulu konudan söz etmemeğe karar vermiştim. Bir gün radyoyu açıp bir felaket haberini ve faillerinin fikri Ray Kurzweil'dan aldıklarını duymak istemedim.

Kısmen bu kararın bir sonucu olarak, kitabın geleceğin teknolojilerinin yararlarını vurgulayıp, barındırdığı tuzakları tümden göz ardı ettiği konusunda epeyce eleştiri aldım. Bu nedenle, 1997–1998'de *The Age of Spiritual Machines*'i yazarken hem umut veren yönlerini hem de tehlikeleri ele almaya çalıştım.[7] O zamana kadar kamuoyunun dikkati konuya yeterince çekilmişti (örneğin, 1995'te gösterime giren, yeni bir viral patojenin ortaya salınmasıyla oluşan terör ve paniği anlatan *Tehdit* adlı film), böylece ben de bu konuyu açıkça ele alabilmeye başladım.

1998 Eylülünde manuskripti yeni bitirdiğim dönemde Tahoe Gölündeki bir barda, yüksek teknoloji dünyasından saygın ve bu alana yıllarını vermiş meslektaşım Bill Joy'a rastladım. Bu kısa görüşmemizdeki ilgi odağım, etkileşimli ağ sistemlerinin (Java) yazılım dili alanında yaptığı öncü çalışmalar ve Sun Microsystems'in kurucularından olması dolayısıyla hep takdir ettiğim Joy değil, küçük masamızdaki diğer kişi, John Searle oldu. Berkeley'deki California Üniversitesinin seçkin felsefecilerinden olan Searle, meslek yaşamını insan bilincinin derin gizemlerini Ray Kurzweil gibi maddecilerin (ki bu sonraki bölümde reddedeceğim bir nitelemedir) açık saldırılarından korumak üzerine kurmuştu.

Searle ile kısa süre önce, George Gilder'in Telecosm konferansının kapanış oturumunda bir makinenin bilinci olup olamayacağı konusunu tartışmıştık. Başlığı "Tinsel Makineler" olan oturum, yakında piyasaya çıkacak olan kitabımın felsefi yansımalarını konu alan bir tartışmaydı. Joy'a kitabımın bir manuskriptini vermiş, kendisini Searle ile aramızdaki bilinç tartışmasına çekmeye çalışmıştım.

---

6 Ken Alibek, *Biohazard* (New York: Random House, 1999).
7 Ray Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines* (New York: Viking, 1999).

Ne var ki Joy'da asıl ilgi uyandıran yeni gelişmekte olan üç teknolojinin insan uygarlığına verebileceği olası zararlar konusu oldu: Genetik, nano teknoloji ve robotbilim (daha önce ele aldığım GNR). Daha sonra *Wired* dergisinde yayımladığı, bugün artık herkesin bildiği "Why the Future Doesn't Need Us" ["Gelecek Bizi Neden Gereksinmez"] adlı yazısında anlatacağı gibi, geleceğin teknolojisinin irdelediğim olumsuz tarafları Joy'u dehşete düşürmüştü.[8] Joy yazısında bilim ve teknoloji dünyasından arkadaşlarına benim öngörülerimin güvenilir olup olmadığını sorduğunu ve bu olanakların gerçekleşmeye ne kadar yakın olduğunu öğrendiğinde düştüğü umutsuzluğu anlatıyordu.

Joy'un yazısı bütünüyle olumsuz senaryolar üzerine odaklanıyordu, büyük de fırtınalar kopardı. Teknoloji dünyasının ileri gelen isimlerinden biri çıkıp, geleceğin teknolojilerinin yeni ve dehşet verici tehlikelerinden söz ediyordu. Joy'un yarattığı fırtına çok daha ekili olmakla birlikte, finans spekülatörü ve baş kapitalist George Soros'un, serbest kapitalizmin aşırılıklarını belli belirsiz eleştiren sözlerinin gördüğü ilgiyi akla getiriyordu. *New York Times* gazetesi Joy'un yazısı üzerine yorum yapıp yazıyı tartışan on bin kadar yazı aldıklarını bildirdi. Bu, teknoloji konularıyla ilgili yorumların tarihinde erişilen en yüksek sayıydı. Böylece, Tahoe Gölü kıyısındaki dinlenme girişimim uzun sürecek iki tartışmanın fitilini yakmış oldu.

Joy'un kaygılarının kaynağı olmama karşın bir "teknoloji optimisti" olarak ünüm sürdü. Joy ve ben, ayrı ayrı, geleceğin teknolojileriyle ilgili umutları ve tehlikeleri tartışmak üzere birçok toplantıya davet edildik. Benden tartışmanın "umut" yönünü ele almam beklense de çoğu kez sonuçta kendimi ayrılan sürenin önemli bir bölümünde Joy'un söz konusu tehlikelerin geçerliliği konusundaki duruşunu savunurken buluyorum.

Birçok kişi Joy'un yazısını, bütün teknolojik gelişmelerden değil, yalnızca nano teknoloji gibi, bunların "tehlikeli olanlarından" genel olarak vazgeçilmesini savunan bir yaklaşım olarak yorumladı. Bugün, Silikon Vadisinin efsanevi şirketi Kleiner, Perkins, Caufield & Byers ile birlikte risk sermayedarı olarak çalışıp, nano

8 Bill Joy, "Why the Future Doesn't Need Us," *Wired*, Nisan 2000, http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html.

teknolojinin yenilenebilir enerji ve diğer doğal kaynaklardaki uygulamaları üzerine yatırım yapan Joy ise genel bir vazgeçişin yanlış bir yorum olduğunu, niyetinin hiçbir zaman bu olmadığını söylemektedir. Kısa süre önce yaptığımız özel bir e–posta yazışmasında, üzerinde durulması gereken esas konunun, tümden yasaklanma değil, "fazlasıyla tehlikeli olan teknolojilerin gelişmesinin sınırlandırılması" konusundaki çağrısının olması gerektiğini belirtti (*bkz.* bu bölümün başındaki alıntılar). Örneğin, kendiliğinden kopyalanan nano teknolojiye yasaklar getirilmesini öneriyor, bu da nano teknolojinin öncüsü Eric Drexler ile Christine Peterson'un kurdukları Foresight Enstitüsünün savunduğu ilkelere benzerdir. Bu genelde akla yatkın bir ilkedir; fakat aşağıda irdeleyeceğim gibi (*bkz.* s. 387), bazı istisnalarının olması gerektiğine inanıyorum.

Joy, bir diğer örnekte patojenlerin gen dizilimlerinin internette yayımlanmaması gerektiğini savunmaktadır; buna katılıyorum. Bilim insanlarının bu yöndeki kuralları gönüllü olarak ve uluslararası çapta benimsediklerini görmek isteyerek, "eğer bir felaketin olmasını beklersek, sonunda daha katı ve zararını göreceğimiz kurallar" gerekeceğine işaret etmektedir. Joy, "en büyük yararı elde edebilmek için bu türden hafif kuralları getireceğimizi" umduğunu belirtmektedir.

Küresel ısınmaya karşı ilk uyarıları yapan kişilerden biri olan çevreci Bill McKibben gibi başkalarıysa genel olarak biyoteknoloji ve nano teknoloji gibi alanlardan, hatta bütün teknolojilerden tümden vazgeçilmesini savunmuştur. Aşağıda ayrıntılı biçimde ele alacağım gibi (*bkz.* s. 386), bu yaygın alanlardan vazgeçmek, teknolojik gelişmelerin tamamından vazgeçmeden mümkün olamayacaktır. Bu, bütün teknolojik gelişmeleri yasaklayan, *Brave New World** işlenen türden totaliter bir yönetimi gerektirecektir. Böyle bir çözüm yalnızca demokratik değerlerimizle çelişmekle kalmaz, teknolojiyi yeraltına iter, işin uzmanlığını (haydut devletler) gibi sorumsuz uygulamacıların eline vererek tehlike potansiyelini daha da artırır.

* *Cesur Yeni Dünya*, çev. Ümit Tosun, İthaki Yayınları, 2003

İç İçe Geçmiş Yararlar...

Tüm zamanların en iyisi ve en kötüsüydü. Akıl çağı, budalalık çağı, inanç çağı, kuşku çağı, ışık mevsimi, karanlık mevsimi, umut baharı ve umutsuzluk kışıydı. Yaşamak için hem çok şeyimiz vardı, hem hiçbir şeyimiz yoktu. Topumuz, dosdoğru öte yanı boylayacaktık.

—Charles Dickens, *A Tale of Two Cities*

Tartışma, sabanın savunulmasına benzerdir. Karşı çıkanların olacağını ama sabanın yine de kullanılacağını bilirsiniz.

—James Hughes, Transhümanistler Derneği Sekreteri ve Trinity College sosyoloğu, "İnsanlar, insanlık sonrasını benimsemeli mi yoksa ona karşı mı çıkmalı?" tartışmasından

Teknolojinin getirdikleri her zaman karışıktır; bir yandan bize daha uzun, sağlıklı yaşam, fiziksel ve zihinsel angaryalardan kurtuluş, birçok yeni yaratıcı olanakları kazandırmışken, diğer yandan yeni tehlikelerin yolunu açmıştır. Teknoloji, hem yaratıcı hem de yıkıcı doğamızı güçlendirmektedir.

Türümüzün önemli bir bölümü için, insanlık tarihini büyük ölçüde tanımlayan yoksulluk, hastalık, zor koşullar altında çalışma ve felaketlerin etkileri ortadan kalkmıştır. Artık birçoğumuz yaşamlarımızı sürdürebilmek için çok zorlayıcı koşullarda durup dinlenmeden çalışıp didinmek zorunda kalmadan, zevkli, anlamlı bulduğumuz işlerde çalışma olanağını elde ettik. Kendimizi ifade edebileceğimiz çok güçlü araçlar var elimizde. Ağın da dünyanın daha az gelişmiş bölgelerine kadar ulaşmasıyla, nitelikli eğitim ve tıbbi bilginin elde edilebilirliği konusunda büyük adımlar atıldığına tanık olacağız. Kültürü, sanatı ve insanlığın üstel olarak büyüyen bilgi tabanını dünya çapında paylaşabileceğiz. İkinci bölümde yoksulluğun bütün dünyada azaldığını bildiren Dünya Bankası raporundan söz etmiştim, bu raporu sonraki bölümde de ele alacağım.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında yirmi olan demokrasi sayısı, büyük ölçüde dağıtık elektronik iletişimin etkisi sayesinde bugün

yüzün üzerine çıktı. Demir Perdenin yıkılması dahil en büyük demokratikleşme süreci 1990'larda, internet ve ilgili teknolojilerin gelişmesiyle yaşandı. Ancak bu alanların her birinde tabii ki daha yapılacak çok şey var.

Biyomühendislik, hastalık ve yaşlanma süreçlerinin tersine çevrilmesi konusunda ilk büyük adımlarını atma aşamasındadır. N ile R'nin her yerde, her zaman kolaylıkla elde edilebilir olmasınaysa daha bir yirmi, otuz yıl var; bunlar, bu yararların üstel gelişimini de sürdürecektir. Bundan önceki bölümlerde irdelediğim gibi bu teknolojiler olağanüstü bir varsıllık yaratacak, böylece yoksulluğu ortadan kaldıracak, ucuz hammaddeyi ve bilgiyi istenen her tür ürüne dönüştürerek tüm maddi gereksinimlerimizi karşılayacaktır.

Giderek daha fazla zamanımızı sanal ortamlarda geçirecek, sanal gerçeklikte, gerçek ya da sanal, dilediğimiz kişiyle dilediğimiz deneyimi yaşayabileceğiz. Nano teknoloji, fiziksel dünyanın şeklinin istek ve gereksinimlerimize göre değiştirilebileceği benzer bir olanağı sağlayacaktır. Giderek küçülen, endüstriyel çağımızdan artakalan sorunlar ortadan kaldırılacaktır. Hâlâ süregelen çevresel yıkımı tersine çevirebileceğiz. Nano mühendislik ürünü yakıt hücreleri ve güneş hücreleri temiz enerji sağlayacaktır. Fiziksel bedenlerimizdeki nanobotlar patojenleri yok edecek, hatalı oluşmuş protein ve protofibril gibi molozu atacak, DNA'yı onaracak, yaşlanmayı tersine çevirecektir. Bedenlerimizin ve beyinlerimizin bütün sistemlerini çok daha yetenekli ve dayanıklı olacak biçimde yeniden tasarlayabileceğiz.

En önemlisi, biyolojik zekâ ile biyolojik olmayan zekânın birleşmesi olacak; biyolojik olmayan zekâ çok kısa sürede baskın gelecektir. İnsan olmanın anlamı büyük ölçüde genişleyecektir. Bilimden sanata her tür bilgiyi yaratma ve değerlendirme yeteneğimizi büyük çapta geliştirecek, aynı zamanda çevremizle, birbirimizle ilişki kurma yeteneğimizi de genişleteceğiz.

Ancak diğer taraftan...

... ve Tehlikeler

> Bugünün güneş hücrelerinden daha verimli olmayan "yapraklı bitkiler," besin, enerji gibi alanlardaki yarışta gerçek bitkilerin önüne geçip, yaşamkürenin besin maddesi olarak tüketilemeyecek bitki örtüsüyle dolmasına neden olabilir. Hem etçil hem otçul olan dayanıklı "bakteriler" gerçek bakterileri yenebilir: Havada uçuşan polenler gibi yayılıp, hızla çoğalır, yaşamküreyi birkaç gün içinde toza indirgeyiverebilirler. Kopyalanarak çoğalan tehlikeli varlıkların –en azından hazırlıklı olmazsak– durdurulamayacak kadar dayanıklı, küçük ve hızla çoğalabilen varlıklar olmaları mümkündür. Virüsler ile meyve sineklerinin denetlenmesinde yeterince sorun yaşıyoruz.
>
> —Eric Drexler

Yirminci yüzyıl birçok olağanüstü başarıyı olduğu kadar, teknolojinin Stalin'in tanklarından Hitler'in trenlerine kadar, yıkıcı yanımızı geliştirmiş birçok müthiş yeteneğini de gördü. 11 Eylül 2001'de yaşanan trajik olay ise teknolojilerin (jetler ve binalar) yıkıcı emelleri olan kişilerin eline geçmesine bir başka örnektir. Bugün hâlâ gezegenimizdeki memelilerin yaşamını tümüyle yok etmeye yetecek kadar (olanların tamamı da belirlenememiştir) nükleer silahla birlikte yaşıyoruz.

1980'lerden bu yana, nükleer silahlardan daha tehlikeli olma potansiyeline sahip zararlı patojenleri üretecek araçlar ve bilgi, sıradan bir üniversitenin biyomühendislik laboratuvarında bile bulunuyor.[9] Johns Hopkins Üniversitesinde yürütülen "Kara Kış" adlı bir savaş oyunu simülasyonunda, ABD'nin üç kentinde klasik çiçek hastalığının kasıtlı olarak yayılmasının bir milyon can kaybına neden olacağı hesaplandı. Eğer biyomühendislik yöntemleriyle virüsün hâlâ kullanılan çiçek aşısını etkisizleştirebilmesi

---

9 Gen ekleme hakkında kitaplar (örneğin, A. J. Harwood, yay. haz., *Basic DNA and RNA Protocols* [Totowa, NJ: Humana Yayınları, 1996]), ayrıca gen ekleme işlemini sağlayan reaktifler ve araç takımları genel olarak bulunabilmektedir. Bu tür malzemeye erişim Batıda sınırlı olsa da eşdeğer malzemeyi sağlayan çok sayıda Rus şirketi vardır.

sağlanmış olsa, sonuç çok daha kötü olurdu.[10] Bu korkunç düşüncenin ortaya koyduğu gerçek, 2001 yılında Avustralya'da yürütülen bir deneyde, farelerdeki çiçek virüsünün bağışıklık sisteminin tepkilerini değiştiren genlerle yanlışlıkla değiştirilmesi sonucunda net biçimde görüldü. Fare çiçek aşısının gücü bu değişmiş virüsü engellemeye yetmemişti.[11] Tehlikeleri hâlâ geçmiş anılarımızda yankılanır. Avrupa nüfusunun üçte biri bubonik (hıyarcıklı) veba nedeniyle yaşamını yitirmişti. Daha yakın bir tarih olan 1918 yılında grip, bütün dünyada yirmi milyon kişinin ölümüne neden olmuştu.[12]

Bu türden tehditler, (insanlar ve teknolojimiz gibi) karmaşık sistemlerin gücünün, verimliliğinin ve zekâsının süregelen gelişme hızını engelleyecek midir? Bu gezegende bugüne kadar yaşanan karmaşıklık artışı, hem içeriden kaynaklanan hem de dışarıdan gelen etkilerle oluşan düzgün bir ivme göstermiştir. Bu, hem (büyük asteroit ve göktaşlarıyla karşılaşma gibi felaketlerin yaşandığı) biyolojik evrim, hem de (bir dizi uzun süreli büyük savaşlarla kesintiye uğramış olan) insanın tarihi için geçerlidir.

Bununla birlikte, dünyanın SARS (ağır akut solunum yolu yetersizliği sendromu) virüsüne karşı gösterdiği duyarlılık yüreklendiricidir. Bu kitabın yazıldığı sıralarda SARS'ın daha şiddetli biçimde geri gelme olasılığının olup olmadığı net olarak bilinmemekle birlikte, önleyici önlemler oldukça etkili olmuş, bu trajik gelişmenin gerçek bir felakete dönüşmesini engellemiş gibi görünmektedir. Alınan önlemler arasında karantina ve yüz maskesi gibi eski, düşük teknoloji araçları da vardır.

Ancak bu yaklaşım, daha çok yenilerde elde edilen gelişmiş araçlar olmadan işe yaramazdı. Araştırmacılar SARS virüsünün DNA dizilimini, virüsün ortaya çıkışının ardından yalnızca otuz

---

10 "Kara Kış" simülasyonunun ayrıntılı özeti için *bkz.* "DARK WINTER: A Bioterrorism Exercise June 2001": http://www.biohazardnews.net/scen_smallpox.shtml. Kısa bir özeti için *bkz.* http://www.homelandsecurity.org/darkwinter/index.cfm.

11 Richard Preston, "The Specter of a New and Deadlier Smallpox," *New York Times*, 14 Ekim 2002, http://www.ph.ucla.edu/epi/bioter/specterdeadlier smallpox.html adresinde bulunabilir.

12 Alfred W. Crosby, *America's Forgotten Pandemic: The Influenza of 1918* (New York: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2003).

bir gün içinde çözdüler, oysa HIV virüsünde bunun için on beş yıl gerekmişti. Böylece geliştirilen etkili bir test sayesinde taşıyıcılar çabucak saptanabildi. Ayrıca, eski çağlarda virüsler dünyayı kasıp kavururken mümkün olmayan anında küresel iletişim olanakları da tüm dünyadan koordineli yanıtların alınmasını sağladı.

Teknoloji GNR'nin tam olarak gerçekleştirilme aşamasına doğru ivme kazandıkça, yine birbiriyle iç içe geçmiş başka potansiyelleri de göreceğiz: Katlanarak genişlemiş insan zekâsıyla ortaya çıkan yaratıcılık şöleninin çeşitli büyük tehlikelerle birleşmesi. Dikkatleri büyük ölçüde üzerinde toplamış olan temel bir kaygı, nanobotların kısıtlamasız kopyalanmasıdır. Nanobot teknolojisi, bu tür akıllı tasarım ürünü aygıtlardan trilyonlarcasının kullanımını gerektirir. Bu miktarlara erişebilmek için bunların temelde biyoloji dünyasının kullandığı aynı yöntemle (döllenen tek bir yumurtadan insanı oluşturan trilyonlarca hücre bu şekilde oluşmaktadır), kendiliğinden kopyalanmalarını sağlamak gerekir. Nasıl ki biyolojik kendiliğinden kopyalanma işleminde yaşanan aksilikler (yani, kanser) biyolojik yıkıma neden oluyorsa, nanobotların kendiliğinden kopyalanmasını sınırlayan mekanizmada ortaya çıkacak herhangi bir aksaklık da –gri yapışkan adı verilen senaryo– biyolojik olan ya da olmayan, tüm fiziksel varlıkları tehlikeye atacaktır.

İnsanlar dahil tüm canlılar üstel olarak yayılan nanobot saldırılarının başlıca kurbanları olacaktır. Nanobot yapımının belli başlı tasarımları, ana yapı taşı olarak karbon kullanır. Kendine özgü dört yönlü bağ oluşturma özelliğiyle karbon, moleküler birleşme için ideal bir yapı taşıdır. Karbon molekülleri düz zincirler, zikzaklar, halkalar, nanotüpler (tüplerde oluşan altıgen dizilimler), tabakalar, bucky topları (altıgen ve beşgenlerden oluşan küreler) ve çeşitli başka biçimler oluşturabilmektedir. Biyoloji de karbonu aynı amaçla kullandığı için, patolojik nanobotlar, dünyanın biyokütlesinin bu ana madde açısından ideal bir kaynak olduğunu keşfedeceklerdir. Biyolojik varlıklar aynı zamanda glikoz ve adenozin trifosfat halinde depolanmış enerji sağlayabilmekteler.[13] Oksijen, sülfür, demir, kalsiyum ve diğer az

13 "PowerfromBloodCouldLeadto'HumanBatteries'",*SydneyMorningHerlad,* 4 Ağustos 2003, http://www.smh.com.au/articles/2003/08/03/1059849278131.

rastlanan yararlı elementler de biyokütlede mevcuttur.

Kontrolden çıkmış bir kendiliğinden kopyalanan nanobotun dünyanın biyokütlesini yok etmesi ne kadar sürebilir? Biyokütlede yaklaşık 10^{45} dolayında karbon atomu vardır.[14] Kopyalanma özelliğine sahip tek bir nanobotta bulunan karbon atomlarının sayısı akla uygun bir hesapla, 10^{6} dolayındadır. (Bu çözümlemede, değerlerin hassas kesinliği yoktur, yalnızca ortalama büyüklük kertesi göz önüne alınmaktadır.) Biyokütlenin tamamının yerini alabilmek için bu kötü niyetli nanobotun kendinin yaklaşık 10^{39} kopyasını üretmesi gerekecektir, bunu da 130 kez kopyalanmayla başarabilecektir (her kopyalanma potansiyel olarak iki katı fazla biyokütleyi yok edebilecektir). Rob Freitas, en az yaklaşık yüz saniyelik bir kopyalanma süresi hesaplamıştır, yani 130 kez yinelenecek kopyalanma işlemi yaklaşık üç buçuk saat sürecektir.[15] Ancak, biyokütle "düzenli" bir dağılım göstermediği için yıkımın gerçek hızı daha yavaş olacaktır. Sınırlayıcı unsur, yıkımın ön cephesinin devinimi olacaktır. Küçük oldukları için nanobotlar çok hızlı hareket edemezler. Bu tür bir yıkıcı girişimin bütün dünyayı dolaşması büyük olasılıkla haftalar sürecektir.

Bu gözleme dayanarak daha sinsi bir olasılığı düşünebiliriz. İki aşamalı bir saldırı durumunda nanobotların biyokütlenin tamamına yayılmaları birkaç hafta sürecek, ama karbon atomlarının her bin kere trilyonda (10^{15}) biri kadar önemsiz bir bölümünü kullanacaklardır. Bu son derece düşük yoğunluk düzeyiyle nanobotlar olabildiğince fark edilmez olacaklardır. Ardından gelecek

---

html. *Bkz.* beşinci bölümde 129. not. *Ayrıca bkz.* S. C. Barton, J. Gallaway ve P. Atanassov, "Enzymatic Biofuel Cells for Implantable and Microscale Devices," *Chemical Reviews* 104.10 (Ekim 2004): 4867-4886.

14 J. M. Hunt, yeryüzünde 1,55 x 10^{19} kilogram (10^{22} gram) organik karbon bulunduğunu hesaplamıştır. Bu rakama dayanarak, tüm "organik karbonun" biyokütlede yer aldığı varsayımıyla (biyokütle net olarak tanımlanmadığı için tutucu genişlikte bir yöntem kullanarak), ortalama karbon atomu sayısını aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz:

Karbonun ortalama atom ağırlığı (izotop oranlarına göre uyarlanarak) = 12,011. Biyokütledeki karbon = 1,55 x 10^{22} gram / 12,011 = 1,3 x 10^{21} mol.

1,3 x 10^{21} x 6,02 x 10^{23} (Avogadro sayısı = 7,8 x 10^{44} karbon atomu).

J. M. Hunt, *Petroleum Geochemistry and Geology* (San Francisco: W. H. Freeman, 1979).

15 Robert A. Freitas Jr., "The Gray Goo Problem," 20 Mart 2001, http://www.KurzweilAI.net/articles/art0142.html.

"optimal" bir noktada, tohum nanobotların biyokütleyi yok etmek üzere bulundukları yerde hızla yayılmalarıyla da ikinci aşama başlayacaktır. Her tohum nanobotun kendini bin kere trilyon kez çoğaltabilmesi için yalnızca elli kez ikili kopyalanma, ya da doksan dakika gerekecektir. Nanobotların biyokütlede yayılarak zaten yerlerini almış olmaları nedeniyle de yıkıcı cephenin devinimi sınırlayıcı bir etmen olmaktan çıkacaktır.

Buradaki önemli nokta, savunması olmayan biyokütlenin gri yapışkan tarafından çok hızlı biçimde yok edilebileceğidir. Aşağıda irdelediğim gibi (*bkz.* s. 393), bu senaryolar olasılığa dönüşmeden mutlaka bir nano teknoloji bağışıklık sistemimizin oluşturulması gereklidir. Bu bağışıklık sisteminin yalnızca belirgin yıkımlarla değil, çok düşük yoğunluklarda bile olabilecek, tehlike potansiyeli taşıyan (sinsi) kopyalanmayla da savaşabilmesi gerekecektir.

Mike Treder ve Chris Phoenix (sırasıyla, Duyarlı Nano teknoloji Merkezinin yönetici direktörü ve araştırma direktörü), Eric Drexler, Robert Freitas, Ralph Merkle ve diğerleri, MNT üretim aygıtlarının, kendiliğinden kopyalanan nanoaygıtları engelleyecek önlemlerle üretilmesinin mümkün olduğunu belirttiler.[16] Bu stratejilerden bazılarını aşağıda ele alacağım. Ancak, önemli olmakla birlikte bu gözlem, korkulu gri yapışkan düşüncesini ortadan kaldırmamaktadır. Kendiliğinden kopyalanan nanobotların yaratılması için (üretim dışında) başka birçok neden vardır. Örneğin, yukarıda sözü edilen nano teknoloji bağışıklık sistemi er ya da geç kendiliğinden kopyalanmayı gerektirecektir; yoksa bizi

---

16 "Gray Goo Is a Small Issue," Brifing Belgesi, Sorumlu Nano teknoloji Merkezi, 14 Aralık 2003, http://crnano.org/BD-Goo.htm; Chris Phoenix ve Mike Treder, "Safe Utilization of Advanced Nanotechnology," Sorumlu Nano teknoloji Merkezi, Ocak 2003, http://crnano.org/safe.htm; K. Eric Drexler, *Engines of Creation,* 11. bölüm, "Engines of Destruction," (New York: Anchor Books, 1986), s. 171–190, http://www.foresight.org/EOC/EOC_Chapter_11.html; Robert A. Freitas Jr. ve Ralph C. Merkle, *Kinematic Self–Replicating Machines*, bölüm 5.11, "Replicators and Public Safety," (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2004), s. 196–199, http://www.MolecularAssembler.com/KSRM/5.11.htm, ve bölüm 6.3.1, "Molecular Assemblers Are Too Dangerous," s. 204–206, http://www.Molecular Assembler.com/ KSRM/6.3.1.htm; Foresight Enstitüsü, "Molecular Nanotechnology Guidelines: Draft Version 3.7," 4 Haziran 2000, http://www.foresight.org/guidelines/.

savunması mümkün olmayacaktır. Kendiliğinden kopyalanma, altıncı bölümde irdelediğim gibi, nanobotların zekâyı dünyanın ötesine hızlıca yayabilmeleri için de gerekli olacaktır. Sürecin, birçok askeri uygulamada kullanılması da olasıdır. Ayrıca, istenmeyen kendiliğinden kopyalanmaya karşı alınacak, aşağıda sözü edilen yayın mimarisi gibi önlemlerin (*bkz.* s. 388), kararlı bir muhalif ya da terörist tarafından kırılması da mümkündür.

Freitas, birtakım yıkıcı nanobot senaryoları daha belirlemiştir.[17] "Gri plankton" adını verdiği senaryoya göre, kötü niyetli nanobotlar hem su altında CH_4 (metan) olarak depolanan karbonu hem de deniz suyunda erimiş halde bulunan CO_2'yi kullanabileceklerdir. Denizlerden alınan bu kaynaklar dünyanın biyokütlesinin on katı kadar karbon sağlayabilmektedir. Freitas'ın "gri toz" senaryosundaysa kopyalanan nanobotlar, enerjilerini havaya kalkan tozda ve güneş ışığında bulunan temel elementlerden elde ederler. "Gri yosunlar" senaryosundaysa kayalarda bulunan karbon ve diğer elementler kullanılır.

Varoluşsal Riskler Dizisi

> Az bilgi tehlikeliyse, tehlikesi olmayacak kadar çok bilgiye sahip kimse var mıdır?
>
> —Thomas Henry

Aşağıda (*bkz.* s. 392'deki "GNR Savunması İçin Bir Program" bölümü), bu ciddi risklerin ele alınmasında atılabilecek adımları irdeleyeceğim, ancak bugün geliştireceğimiz herhangi bir strateji bize bir garanti sağlayamayacaktır. Bu riskler Nick Bostrom'un "Varoluşsal Riskler" olarak nitelediği ve aşağıdaki tablonun sağ üst bölümünde tanımladığı tehlikelerdir:[18]

---

17 Robert A. Freitas Jr., "Gray Goo Problem," ve "Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators, with Public Policy Recommendations," Zyvex'in yeniden basımı, Nisan 2000, bölüm 8.4 "Malicious Ecophagy" ve bölüm 6.0 "Ecophagic Thermal Pollution Limits (ETPL)," http://www.foresight.org/NanoRev/Ecophagy. html.

18 Nick D. Bostrom, "Existential Risks: Analyzing Human Extinction Scenarios and Related Hazards," 29 Mayıs 2001, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/ art0194.html.

Bostrom'un Risk Sınıflandırması

		Risk Yoğunluğu	
		Orta	**Şiddetli**
	Küresel	Ozonun Delinmesi	*Varoluşsal Riskler*
Kapsam	**Yerel**	Gerileme	Soykırım
	Kişisel	Arabanın çalınması	Ölüm
		Katlanılabilir	**Ölümcül**

Yeryüzündeki biyolojik yaşam, insan eliyle oluşan varoluşsal riskle ilk kez, yirminci yüzyılın ortasında geliştirilen hidrojen bombası ve bunu izleyen soğuk savaşın yarattığı termonükleer güçlerle karşılaştı. Başkan Kennedy'nin Küba füze krizi sırasında tam bir nükleer savaşın gerçekleşme olasılığını yüzde 33 ile 50 arasında hesapladığı söylenir.[19] Amerikan Hava Kuvvetleri Stratejik Silahlar Değerlendirme Komitesinin başkanlığını ve nükleer stratejiler alanında hükümet danışmanlığı yapmış olan efsanevi bilgi kuramcısı John von Neumann, (Küba füze krizi öncesinde) nükleer bir kıyametin olabilirliğini yüzde 100'e yakın olarak tahmin etmiştir.[20] 1960'ların bakış açısından, o dönemi yaşayan hangi gözlemci dünyanın bir nükleer patlama olmadan bir kırk yıl daha geçireceğini tahmin edebilirdi ki?

Uluslararası ilişkilerde büyük bir kaos yaratmış olsa da bugüne kadar savaşlarda nükleer silah kullanımından kaçınılmış olmasına şükredebiliriz. Ama yine de rahat olamayacağımız açıktır; tüm insan yaşamını defalarca yok etmeye yetecek kadar hidrojen bombası hâlâ bulunduruluyor.[21] Toplumsal tartışmaların dikkatini çok az çekse de Amerika Birleşik Devletleri ile Rusya'nın birbirlerine karşı konuşlandırdığı dev kıtalararası balistik füze cep-

19 Robert Kennedy, *13 Days* (Londra: Macmillan, 1968), s. 110.

20 H. Putnam, "The Place of Facts in a World of Values," *The Nature of the Physical Universe* içinde, yay. haz. D. Huff ve O. Prewitt (New York: John Wiley, 1979), s. 114.

21 Graham Allison, *Nuclear Terrorism* (New York: Times Books, 2004).

hanelikleri, ilişkilerde buzların erimesine karşın, hâlâ yerlerinde durmaktadırlar.

Nükleer silahlanmanın artması ve nükleer malzemeyle teknik bilginin yaygın olarak bulunabilirliği, uygarlığımız için varoluşsal olmasa da, bir diğer büyük kaygı kaynağıdır. (Bunun anlamı, yalnızca kıtalararası balistik füze cephaneliklerinin tümden kullanıldığı bir termonükleer savaşın tüm insan yaşamı için risk yaratacağıdır.) Nükleer silahlanma ve nükleer terörizm, soykırımla birlikte "şiddetli–yerel" risk sınıfına girer. Konu intihar eylemli terör olunca, kaygı kuşkusuz katbekat artmaktadır; çünkü bunda karşılıklı ve kontrollü yok edebilmenin mantığı geçerli değildir.

Tartışılabilir olmakla birlikte buna şimdi biyomühendisliğin mümkün kıldığı, kolayca yayılabilen, uzun bir kuluçka dönemi olan ve ölümcül sonuçlara yol açan bir virüsün üretilebilecek olmasıyla oluşan başka bir yaşamsal riski daha eklemiş bulunuyoruz. Adi grip ve nezle gibi kimi virüsler kolaylıkla bulaşabilir. HIV gibi kimi virüsler ise ölümcüldür. Bir virüsün bu iki özelliği birden taşıması enderdir. Bugün yaşayan insanlar çok kolay ve hızlı bulaşan birçok virüse karşı doğal bağışıklık geliştirmiş bir soydan gelmektedir. Türlerin viral salgınlara dayanabilme yetenekleri, nüfusun genetik çeşitliliğini, dolayısıyla belirli viral etkenlere tepkinin çok farklı düzeylerde olmasını sağlayan eşeyli üremenin getirdiği bir üstünlüktür. Yıkıcı olmakla birlikte, hıyarcıklı veba Avrupa'daki herkesi öldürmemiştir. Çiçek hastalığı gibi diğer bazı hastalıklar hem olumsuz özellikler taşırlar –kolay bulaşabilirler ve öldürücüdürler– ama hem de toplumun aşı şeklinde bir teknolojik korunma yöntemini geliştirmelerine zaman tanıyacak kadar uzun süre var olmuşlardır. Bununla birlikte gen mühendisliği, doğal ya da teknolojik hiçbir korunma yöntemimizin olmadığı yeni patojenleri birden ortaya çıkararak, evrimle kazanılan bu korunma mekanizmalarını atlatma potansiyelini taşımaktadır.

Adi grip ve nezle gibi kolay bulaşabilen, yaygın virüslere öldürücü toksin geni eklenmesi olasılığı da başka bir varoluşsal risk senaryosunu gündeme getirmiştir. Bu tür tehditlerle nasıl baş edilebileceğinin Asilomar konferansında ele alınmasına ve ardından bir dizi güvenlik ve etik ilkelerinin oluşturulmasına yol açan bu olasılık olmuştur. Bu ilkeler bugüne kadar işe yaramış olsa da

kötü niyetli genetik değişimlere temel sağlayan teknolojiler hızla gelişmektedir.

2003'te dünya SARS virüsüyle başarılı biçimde mücadele etti. SARS'ın ortaya çıkmasına, çok eski bir uygulamayla (virüsün, bir olasılıkla misk kedisi gibi egzotik hayvanlardan yakın çevrede yaşayan insanlara sıçraması) modern bir uygulamanın (enfeksiyonun hava taşımacılığı yoluyla kısa sürede bütün dünyaya yayılması) bir araya gelmesi neden oldu. SARS bize insan uygarlığı için yeni, kolay bulaşan, insan bedeninin dışında uzun süre canlı kalma yeteneğine sahip ve yüzde 14 ile 20 arasında ölüm olasılığıyla çok ölümcül olan bir virüsle prova yapma olanağı sağladı. Virüse verilen tepki de yine çok eski ve modern yöntemlerin bir karışımını içermiştir.

SARS'la yaşadığımız deneyim, görece kolay yayılabilip oldukça ölümcül olsalar da, çoğu virüsün ciddi riskler barındırmakla birlikte mutlaka varoluşsal bir risk getirmeyebileceğini gösterdi. Ancak SARS, üretilmiş bir virüs gibi görünmemektedir. Salgılanan bedensel sıvılar yoluyla insandan insana kolaylıkla geçebilir ama havadan bulaşmaz. Virüsün kuluçka dönemi bir gün ile iki hafta arasında tahmin ediliyor; kuluçka dönemi daha uzun olsaydı, taşıyıcıları anlaşılıncaya kadar üstel olarak çoğalarak birkaç kuşak boyunca yayılabilme olanağını bulurdu.[22]

SARS öldürücüdür ama kurbanlarının çoğu hastalığı atlatabilmektedir. Bir virüsün kötü niyetlerle, SARS'tan daha kolay yayılabilen, daha uzun kuluçka dönemi olan ve tüm kurbanlarını öldürecek şekilde yapay olarak üretilmesi yine de mümkündür. Çiçek virüsü bunlara yakın özelliklere sahiptir. Aşısı (ham da olsa) bulunmuş olsa bile bu aşı, virüsün genetiği değiştirilmiş türlerine karşı etkili olmayacaktır.

Aşağıda betimlediğim gibi, biyomühendislik yöntemleriyle virüs üretiminin, varoluşsal ya da diğer türden olsun, kötü niyetli kullanımına açılan pencere, 2020'lerde nanobotları kullanan etkili antiviral teknolojileri tam olarak geliştirdiğimizde kapanacaktır.[23]

---

22 Martin I. Meltzer, "Multiple Contact Dates and SARS Incubation Periods," *Emerging Infectious Diseases* 10.2 (Şubat 2004), http://www.cdc.gov/ncidod/EID/vol10no2/03-0426-G1. htm.

23 Robert A. Freitas Jr., "Microbivores: Artificial Mechanical Phagocytes Using Digest and Discharge Protocol," Zyvex önbasım, Mart 2001, http://www.rf-

Ancak yine de nano teknoloji biyolojik varlıklardan binlerce kat daha güçlü, hızlı ve zeki olacağı için, kendiliğinden kopyalanan nanobotlar daha büyük bir riski ve başka bir varoluşsal riski ortaya koyacaktır. Kötü niyetli nanobotların üretimi için açılan pencere er ya da geç yapay zekâ tarafından kapanacak, ama "dost olmayan" yapay zekâ, aşağıda irdelediğim gibi (*bkz.* s. 396) daha da zorlu bir varoluşsal riski ortaya koyacaktır ki bu da pek şaşırtıcı değildir.

Sakınma İlkesi. Aralarında Bostrom, Freitas ve benim de bulunduğum birçok gözlemcinin işaret ettiği gibi, varoluşsal risklerin ele alınmasında deneme yanılma yöntemlerine güvenemeyiz. "Sakınma ilkesi" olarak bilinenin, birbirine rakip birçok yorumu bulunmaktadır. (Bir eylemin sonuçları bilinmiyor ancak bazı bilim insanlarınca yapılan değerlendirme sonucunda çok küçük bile olsa ciddi bir olumsuzluk riski taşıyorsa, olumsuz sonuçlarının riskini almaktansa bu eylemin hiç yürütülmemesi daha iyidir.) Yine de bu tür risklerle savaşım stratejilerimizde en yüksek güvenilirlik düzeyine ulaşmamız gerektiği açıktır. Yeni varoluşsal riskleri ortadan kaldırmanın başlıca yöntemi olarak gelişmiş teknolojilerin kullanımına son vermemizi talep eden ve giderek daha gür çıkan sesleri duymamızın bir nedeni budur. Ancak vazgeçmek doğru tepki değildir; gelişmekte olan bu teknolojilerin sağlayacağı büyük yararları yalnızca engelleyecektir, ayrıca yıkıcı sonuçların olasılığını da artıracaktır. Max More, sakınma ilkesinin getirdiği sınırlamaları dile getirerek, onun yerine, adım atmanın ve adım atmamanın getirdiği risklerin bir dengesinin söz konusu olduğu ve "geleceğin etkilenmesi ilkesi" olarak adlandırdığı şeyin benimsenmesini savunur.[24]

---

reitas.com/Nano/Microbivores.htm ve "Microbivores: Artificial Mechanical Phagocytes," Foresight Update no. 44, 31 Mart 2001, s. 11–13, http://www.imm.org/Reports/Rep025.html.

24 Max More, "The Proactionary Principle," Mayıs 2004, http://www.maxmore.com/proactionary.htm ve http://www.extropy.org/proactionaryprinciple.htm. More, "Proactionary Principles" adlı makalesinde proaktiflik ilkelerini şöyle özetler:

1 İnsanların yeni teknolojiler yaratması özgürlüğü insanlık için değerlidir. Bu nedenle, kanıtlama zorunluluğu kısıtlayıcı önlemleri önerenlere aittir. Önerilen tüm önlemler çok dikkatle incelenmelidir.

2. Riskleri geçerli bilime göre değerlendirin, popüler algıya göre değil, bilinen uslamlama önyargılarını dikkate alın.

Varoluşsal risklerin önümüze koyduğu güçlüklere nasıl karşılık verileceğini irdelemeye geçmeden önce, Bostrom ve diğerleri tarafından ortaya atılmış olan birkaçını daha gözden geçirmek yararlı olacaktır.

Etkileşim Ne Kadar Küçükse, Patlama Potansiyeli O kadar Büyüktür. Son zamanlarda, geleceğin çok yüksek enerji taşıyan parçacık hızlandırıcılarının, atom altı düzeyde enerjinin dönüşen hallerinin bir zincirleme tepkimesini oluşturma potansiyeli tartışılmakta. Bunun gökadamızın yakın çevresinde bulunan tüm atomların parçalanmasına yol açması ve üstel hızla genişleyen bir yıkım bölgesinin oluşması mümkündür. Güneş sistemimizi yutacak bir kara deliğin açılması dahil, bu tür çeşitli senaryolar ortaya atılmıştır.

Tehlike konusunda tüm fizikçiler o kadar iyimser olmasa da yapılan çözümlemeler bu senaryoların gerçekleşme olasılığının çok düşük olduğunu göstermektedir.[25] Bu çözümlemelerin matematiği

---

3. Varsayımsal risklere karşı savaşmak yerine insan sağlığı ve çevresel niteliklere ilişkin bilinen ve kanıtlanmış tehditlerin iyileştirilmesine öncelik tanıyın.
4. Teknolojik riskleri doğal risklerle aynı temele dayanarak ele alın; doğal riskleri hafife almaktan, insan–teknoloji risklerini fazla önemsemekten kaçının. Teknolojik ilerlemelerin getirdiği yararları ayrıntısıyla hesaba katın.
5. Bir teknoloji terk edildiğinde yitirilecek fırsatları öngörüp, yaygın olarak dağılmış etkilerini ve ardından gelen etkileri dikkatle değerlendirerek, terk edilen teknolojinin yerine diğer güvenilir seçeneklerin konmasının maliyet ve risklerini hesaba katın.
6. Kısıtlayıcı önlemleri ancak eğer bir etkinliğin potansiyel etkisi hem belirgin olasılık hem de güçlük taşıyorsa göz önüne alın. Böyle durumlarda eğer söz konusu etkinlik aynı zamanda yararlar da sağlıyorsa, olumsuz etkilerin uyarlanabilirliğine göre etkilerini azaltın. Teknolojik ilerlemeyi sınırlandıran önlemler haklı gerekçelere dayanır gibi görünüyorsa, bu önlemlerin kapsamının, olası etkilerin kapsamıyla orantılı olmasını sağlayın.
7. Teknolojik yenilikleri kısıtlayan önlemler arasında seçim yaparken karar ölçütlerinizi şu şekilde önceliklerine göre sıralayın: insan sağlığına öldürücü olmayan tehditlere diğer türlere gelecek riskler karşısında öncelik tanıyın (akla yatkın sınırlar içinde); acil tehditlere uzak tehditler karşısında öncelik tanıyın; daha belli tehditleri daha az belli olanlara, ve geri alınamaz ya da kalıcı etkilere geçici etkiler karşısında öncelik tanıyarak en yüksek beklenti değeri olan önlemi yeğleyin.

25 Martin Rees, *Our Final Hour: A Scientist's Warning: How Terror, Error, and Environmental Disaster Threaten Humankind's Future in This Century—on Earth and Beyond* (New York: Basic Books, 2003).

sağlam gibi görünmektedir, ancak bu düzeydeki fiziksel gerçekliği betimleyen formüller üzerinde henüz bir görüş birliğine varılmamıştır. Bu tür tehlike senaryoları kulağa zorlama gibi gelirse, maddenin giderek azalan ölçeklerinde giderek artan güçlere sahip patlayıcı olguları saptamış olmamız olasılığını göz önüne alın.

Alfred Nobel, moleküllerin kimyasal tepkimelerini gözleyerek dinamiti buldu. Dinamitten on binlerce kat daha güçlü olan atom bombası ise maddenin moleküllerden çok daha küçük ölçeklerdeki parçaları olan büyük atomlar arasındaki nükleer etkileşime dayanır. Atom bombasından binlerce kat daha güçlü olan hidrojen bombası daha da küçük bir ölçekteki etkileşime, daha küçük atomların etkileşimine dayanmaktadır. Bu görüş atom altı parçacıkların değiştirilmeleriyle mutlaka daha da güçlü yıkıcı zincirleme tepkimelerin ortaya çıkacağı anlamına gelmese de varsayımın olası görünmesini sağlamaktadır.

Ben, böylesine yıkıcı bir olayın karşımıza bir anda çıkıvermeyeceğini düşünüyorum. Bir anda gerçekleşen bir kaza sonucunda bir atom bombası yapabilmenin ne kadar olasılık dışı olduğunu düşünün. Öyle bir aygıtta kullanılacak malzemenin, atılacak adımların kesin doğrulukla yapılandırılması gerekir, ilk örneğinin geliştirilebilmesi için de kapsamlı ve kesin bir teknik proje yürütülmesi gerekmişti. Yanlışlıkla bir hidrojen bombasının yapılmasının inandırıcılığıysa daha da düşüktür. Bunun için bir atom bombasını sağlayan bütün koşulların tam olarak yerine getirilmesi, bu bombanın özellikle bir hidrojen çekirdeği ve diğer elementlerle belirli bir biçimde düzenlenmesi gerekir. Atom altı düzeyde yıkıcı sonuçları olabilecek yeni bir zincirleme tepkime sınıfını oluşturacak tam koşulları kazara oluşturabilmek ise çok daha olasılık dışı görünmektedir. Sakınma ilkesinin bizi bu olasılıkları ciddiye almaya yönlendirmesinin getireceği sonuçlar yine de yeterince korkunçtur. Yeni hızlandırıcı sınıfları üzerinde deneyler yürütülmeden önce bu potansiyelin dikkatlice çözümlenmesi gerekir. Buna karşın bu risk yirmi birinci yüzyıla ait kaygılar listemin başında yer almamaktadır.

Simülasyonumuzun Fişi Çekildi. Bostrom ve diğerlerinin belirledikleri bir başka varoluşsal risk, gerçekte bir simülasyonda yaşı-

yor olmamız ve bu simülasyonun devre dışı bırakılmasıdır. Bunu etkilemek için pek fazla bir şey yapamayız gibi görünebilir. Ancak simülasyonun konusu biz olduğumuza göre içinde olup biteni biçimlendirme fırsatımız da vardır. Devre dışı bırakılmaktan kurtulmanın en iyi yolu, simülasyonun gözlemcilerine ilginç gelmektir. Birilerinin bu simülasyonu izlediğini varsayarak, ilginç olan bir şeyin devresinin kesilmesi olasılığının diğerlerine göre daha düşük olacağını varsaymak akla yatkın bir varsayımdır.

Bir simülasyonun ilginç olmasının ne anlama geldiğini uzun uzun düşünebiliriz, ancak yeni bilgini oluşturulması bu değerlendirmenin önemli bir bölümü olacaktır. Varsaydığımız simülasyon gözlemcimize neyin ilginç gelebileceğini tahmin etmemiz zor olabilir, ama Tekillik, aklımıza gelebilecek herhangi bir gelişme kadar ilgi çekici olacak ve olağanüstü bir hızla yeni bilgiyi oluşturacak gibi görünmektedir. Gerçekten de, bilgi patlaması yaratan bir Tekilliğe ulaşılması simülasyonun ana hedefi de olabilir. Böylelikle "yapıcı" (gri yapışkanın varoluşsal yıkıcılığı ya da kötü niyetli bir yapay zekânın egemenliği gibi dejenere sonuçlardan kaçınan) bir Tekilliğin sağlama alınması, simülasyonun sona erdirilmesini önlemenin en iyi yolu olacaktır. Tabii ki, başka birçok nedenle, yapıcı bir Tekilliği gerçekleştirmek için her türlü motivasyona sahibiz.

Eğer yaşadığımız dünya birilerinin bilgisayarındaki bir simülasyonsa, bu oldukça iyi ve aslında kendi gerçekliğimiz olarak kabullenebileceğimiz kadar da ayrıntılı bir simülasyondur. Bu, her koşulda elimizdeki tek gerçekliktir.

Dünyamız, uzun ve zengin bir tarihe sahip gibi görünmektedir. Bunun anlamı, ya dünyamızın aslında bir simülasyon olmadığı ya da eğer bir simülasyonsa, bu simülasyonun çok uzun süredir yürütüldüğü ve yakın zamanda sona erdirilmesi olasılığının oldukça düşük olduğudur. Simülasyonun mutlaka gerçek olması gerekmeyen uzun bir geçmişin verilerini barındırıyor olması da tabii ki olasıdır.

Altıncı bölümde irdelediğim gibi, ileri bir uygarlığın bilgi işlem performansını geride bırakacak düzeyde yeni bir evreni (ya da bir başka biçimde söylersek, kendi bilgi işlemini yayabileceği bir yeni evreni) oluşturabileceği öngörüleri de vardır. Böyle bir evrendeki (bir başka uygarlık tarafından yaratılmış) yaşantımızın bir

simülasyon senaryosu olarak görülmesi mümkündür. Belki de bu diğer uygarlık, teknolojik Tekillikle bir bilgi patlaması yaratmak için bizim evrenimize bir evrim algoritması (yani, bizim tanık olduğumuz evrimi) uygulamaktadır. Eğer bu böyleyse, uygarlığımızın bilgi Tekilliği yolundan sapmış olduğu, olması gerektiği gibi de olmadığı görülürse, o zaman bizim evrenimizi izleyen uygarlığın simülasyonumuzun fişinin çekilmesi mümkündür.

Bu senaryo da kaygılarımdan oluşan listenin üst sıralarında yer almaz; özellikle de olumsuz bir sonuçtan kaçınabilmek için izleyebileceğimiz tek strateji zaten izlememiz gereken strateji olduğu için.

Davetsiz Misafir. Sıkça söz edilen bir diğer kaygı da büyük bir asteroitin ya da kuyruklu yıldızın çarpmasıdır; bu da Yeryüzünün tarihinde birçok kez yaşanmış, yaşandığı dönemlerde var olan türler için varoluşsal sonuçlara yol açmıştır. Bu elbette teknolojinin yarattığı bir tehlike değildir. Teknoloji bizi riskten koruyacaktır (bir ya da birkaç on yıl içinde). Ufak tefek etkiler düzenli olarak görülse de, uzaydan büyük ve yıkıcı ziyaretçilerin gelmesi enderdir. Ufukta bunlardan birini görmüyoruz, böyle bir tehlikenin zamanı geldiğinde de uygarlığımızın bu davetsiz misafir bizi yok etmeden, onu yok edebilecek düzeyde olacağı hemen hemen kesindir.

Varoluşsal tehlikeler listesindeki bir diğer madde de uzaydan gelen bir zekâ tarafından (bizim yarattığımız zekâ değil) yok edilmektir. Bu olasılığı altıncı bölümde ele aldım, ancak bunun da olası olduğunu düşünmüyorum.

GNR: Umutlar ve Tehlikeler Kıyaslamasının Doğru Odağı. Buna göre, GNR teknolojileri başat kaygı nedenleri olarak kalmaktadır. Bununla birlikte, GNR'nin gerçek tehlikelerinden kaçınabilmek için teknolojik ilerlemeden tümden vazgeçilmesini savunan, yanlış yönlendirilmiş ve giderek yükselen Luddcu sesleri de ciddiye almamız gerektiğini düşünüyorum. Aşağıda ele alacağım nedenlerle (*bkz.* s. 386), gösterilmesi gereken tepki vazgeçme değildir, ama akılcı korku da akılcı olmayan çözümleri doğurabilmektedir. İnsanların çektikleri acıların yenilmesindeki gecikmeler hâlâ ciddi sonuçlar doğurmaktadır; örneğin, genetiği değiştirilmiş besin-

leri içeren yardımların reddedilmesi nedeniyle Afrika'da kıtlığın şiddetlenmesi gibi.

Tümden vazgeçme totaliter bir sistemi gerektirecektir; totaliter bir "cesur yeni dünya" ise, giderek güçlenen dağıtık elektronik ve fotonik iletişimin demokratikleştirici etkisi nedeniyle olasılık dışıdır. Dağıtık iletişimin internet ve cep telefonlarıyla dünya çapında somutlaşan gelişimi, giderek yayılan bir demokratik güç haline gelmiştir. 1991'de Mikhail Gorbaçov'a karşı darbeyi yapan, bir tankın üzerinde duran Boris Yeltsin değil, on yıllardır süregelen totaliter bilgi denetimini kıran faks ve fotokopi makineleri, video kayıt cihazları ve kişisel bilgisayarlardan oluşan gizli bir ağ idi.[26] 1990'ları belirleyen demokrasi ve kapitalizm ile bunlara eşlik eden ekonomik büyüme eğilimi, kişiden kişiye iletişim teknolojilerinin ivmelenerek artan gücüyle körüklenmiştir.

Varoluşsal olmayan fakat önemli başka sorular da vardır. "Nanobotları kim denetlemektedir?" ve "Nanobotlar kiminle konuşurlar?" bunlardan ikisidir. Gelecekte kuruluşlar (ister hükümetler olsun ister aşırı gruplar) ya da yalnızca akıllı bir birey, belirlenemeyen trilyonlarca nanobotu bir kişinin ya da tüm bir toplumun suyuna veya besin stokuna koyabilir. O zaman bu casusbotlar düşünce ve eylemleri izleyebilecek, etkileyebilecek, hatta denetleyebilecektir. Ayrıca, var olan nanobotlar da yazılım virüsleri ve korsanlık yöntemleriyle etki altına alınabilecektir. Bedenlerimizde ve beyinlerimizde yazılım çalıştığı zaman (irdelediğimiz gibi, kimi insanın zaten aşmış olduğu bir eşiktir), gizlilik ve güvenlik konuları başka türden bir ivedilik kazanacak, bu tür zorlamalarla karşı izleme ve denetim yöntemleri oluşturulacaktır.

Dönüştürülmüş Bir Geleceğin Kaçınılmazlığı. Farklı GNR teknolojileri birçok cephede ilerlemekte. GNR'nin tam anlamıyla gerçekleştirilmesi, her biri kendi içinde iyicil olan yüzlerce küçük adım sonucunda olacaktır. G'de tasarım patojenler oluşturma yöntemlerimizle bu eşiği zaten geçtik. Biyoteknolojideki ilerlemeler, biyolojinin temelinde yatan bilgi süreçlerinde uzmanlaşma

26 Scott Shane, *Dismantling Utopia: How Information Ended the Soviet Union* (Chicago: Ivan R. Dee, 1994); *ayrıca bkz.* James A. Dorn'un eleştirisi: http://www.cato.org/pubs/journal/ cj16n2-7.html.

sonucunda sağlanan etkili etik ve ekonomik yararların gücüyle ivmelenmeyi sürdürecektir.

Nano teknoloji, her türden teknolojide süregelen minyatürleşmenin kaçınılmaz sonucudur. Elektronik, mekanik, enerji, tıp gibi alanlarda çok çeşitli uygulamaların kilit özellikleri, her on yılda doğrusal boyut başına yaklaşık dört kat hızla küçülüyor. Dahası, nano teknoloji ile uygulamalarının anlaşılması üzerine yapılan çalışmalarda üstel büyüme sağlanıyor. (*Bkz.* s. 83 ve 84'te nano teknoloji araştırma ve patent grafikleri.)

Benzer biçimde, insan beyninde ters mühendislik uygulama çabalarımız, bilişsel hastalıklar ile bozulmanın anlaşılması ve tersine çevrilmesi gibi öngörülen çeşitli yararlar tarafından güdülenmekte. Beynin içini görmemizi sağlayan araçların uzaysal ve zamansal çözünürlüğünde üstel gelişme kaydediliyor, beynin taranması ve incelenmesiyle elde edilen verileri çalışır model ve simülasyonlara dönüştürmeyi de başardık.

Beyin üzerinde ters mühendislik çalışmalarından edinilen kavrayışlar, genelde yapay zekâ algoritmalarının geliştirilmesi çalışmaları, bilgi işleme platformlarındaki sürekli gelişmeler, güçlü yapay zekâyı (insan düzeyi ve üzerinde yapay zekâ) kaçınılmaz kılmakta. Yapay zekâ insanların zekâ düzeyine eriştikten sonra, insan zekâsının gücünü biyolojik olmayan zekânın şu anda da sahip olduğu hız, bellek kapasitesi ve bilgi paylaşımıyla birleştireceği için, ister istemez bu düzeyi hızla aşacaktır. Biyolojik zekânın aksine, biyolojik olmayan zekâ ölçek, kapasite ve fiyat performansının süregelen üstel kazanımlarından da yararlanacaktır.

Totaliter Vazgeçiş. İlerlemenin ivme kazanan hızını tüm bu cephelerde durdurabilmenin akla gelen tek yolu, ilerleme düşüncesinin kendisinden tümden vazgeçecek bir totaliter sistemin bütün dünyada kurulmasıdır. Bu korkulu düşünce bile GNR'nin tehlikelerinin önüne geçmeyi başaramayacaktır; çünkü sonucunda oluşacak yeraltı eylemleri daha yıkıcı uygulamaları kullanmayı yeğleyecektir. Bunun nedeni, savunma teknolojilerini hızlı biçimde geliştirebilme konusunda güvendiğimiz sorumlu profesyonellerin gerekli araçlara kolayca ulaşamayacak olmalarıdır. Bilginin giderek artan dağıtık yapısının doğası gereği bir demokratik güç olması nedeniyle böyle bir totaliter gelişme olasılık dışıdır.

Savunma Hatlarının Hazırlanması

Beklentim, bu teknolojilerin yaratıcı ve yapıcı uygulamalarının bugün de olduğu gibi yaygınlaşmasıdır. Yine de, belirli savunma teknolojilerinin geliştirilmesi için çok daha fazla yatırım yapmamız gerekiyor. Daha önce belirttiğim gibi bugün biyoteknolojinin kritik bir döneminde bulunuyoruz, bu yüzyılın onlu yıllarının sonlarına doğru da nano teknolojiye karşı savunma teknolojilerini doğrudan uygulamamız gereken aşamaya geleceğiz.

Teknolojik gelişmenin birbiriyle iç içe geçmiş umutları ile tehlikelerini görebilmek için mutlaka bugünden ileriye bakmak zorunda değiliz. Bundan birkaç yüzyıl önce yaşamış insanlara, bugün var olan tehlikeleri (her şeyden önce atom ve hidrojen bombalarını) anlatmanız gerektiğini düşünün. Herhalde böylesine risklere girmenin çılgınlık olduğunu düşünürlerdi. Ama 2005 yılında yaşayan kaç kişi birkaç yüzyıl önce yaşayan insanların yüzde 99'unun sürdüğü o kısa, zorlu, hastalığın eksik olmadığı, yoksulluk dolu, her an bir felaketle yüz yüze gelme riski taşıyan yaşamlarına dönmek isteyecektir?[27]

Geçmişi romantik bir biçimde düşleyebiliriz ancak çok yakın bir geçmişe kadar insanlığın büyük bölümü, talihsizliğin yıkım anlamına geldiği, son derece kırılgan yaşamlar sürüyordu. İki yüz yıl önce yaşam beklentisinin rekor düzeyde olduğu ülkede (İsveç) kadınların ortalama yaşam süresi aşağı yukarı otuz beş yıldı; bu süre, günümüzde seksen beş yılla en uzun yaşam beklentisi olan Japon kadınlarının yaşam süresiyle kıyaslandığında çok kısadır. Erkeklerin yaşam beklentisiyse, aşağı yukarı otuz üç yıldı; günümüzde yaşam beklentisinin en uzun olduğu ülkelerde yetmiş beş yıldır.[28] Bir akşam yemeğinin hazırlanması yarım gün sürüyordu, insanların çoğu ağır işlerde çalışıyordu. Sosyal güvenlik örgütleri yoktu. Türümüzün önemli bir bölümü hâlâ böylesine belirsiz yaşamaktadır, bu da, teknolojik ilerleme ile buna eşlik edecek ekonomik gelişmenin sürdürülmesi için makul bir nedendir. Yoksulluk,

---

27 *Bkz.* George DeWan, "Diary of a Colonial Housewife," *Newsday,* 2005, birkaç yüzyıl önce insan yaşamındaki zorlukların anlatımı için: http://www.newsday.com/community/guide/lihistory/ny-history-hs331a,0,6101197.story.

28 Jim Oeppen ve James W. Vaupel, "Broken Limits to Life Expectancy," *Science* 296.5570 (10 Mayıs 2002): 1029–1031.

hastalık, kirlenme gibi sorunların ve günümüz toplumunun ağır basan diğer kaygılarının üzerine gidebilecek tek şey, yetenekler ve olanaklar açısından farklı büyüklük kertelerinde ilerlemeyi sağlayabilecek olan teknolojidir.

İnsanlar geleceğin teknolojisinin etkilerini düşünürken genellikle üç aşamadan geçerler: Yüz yıllık sorunları çözebilme potansiyeli karşısında duyulan korku ve hayranlık; sonra, bu yeni teknolojilerle birlikte gelen yeni bazı ciddi tehlikeler karşısında yaşanan korkulu duygu; sonra da, benimsenebilecek en olası ve sorumlu yolun hem yararlarının ortaya çıkarılabileceği hem de tehlikelerin denetim altında tutulabileceği dikkatli bir rotanın belirlenmesi olduğunu anlama.

Teknolojinin olumsuz yanlarını –savaşın neden olduğu ölüm ve yıkımlar gibi– çoktan yaşamış olduğumuzu belirtmeye gerek yok. Birinci endüstri devriminin ham teknolojileri, bundan yüz yıl önce gezegenimizde yaşamış türlerin birçoğunu yerlerinden etmiştir. Merkezi teknolojilerimizin (binalar, kentler, uçaklar ve enerji santralleri gibi) güvenilir olmadığı tartışma götürmez.

Savaşta kullanılan nükleer, biyolojik ve kimyasal teknolojilerin tümü geçmişte ya kullanılmış ya da kullanılma tehditlerine konu edilmiştir.[29] Bunlardan çok daha güçlü GNR teknolojileri ise bizi yeni ve büyük, yerel ve varoluşsal risklerle tehdit etmektedir. Genetiği değiştirilerek tasarlanmış patojenler ile bunları izleyecek olan ve nano teknoloji yöntemleriyle üretilecek kendiliğinden kopyalanan varlıklar hakkındaki kaygılarımızı yenebilirsek, zekâları bizimkiyle yarışıp sonunda ona üstün gelecek robotları görebileceğiz. Bu tür robotlar harika yardımcılar olabilir ama salt biyolojik olan insanlara dost kalacaklarına güvenebileceğimizi söyleyebilir miyiz?

Güçlü Yapay Zekâ. Güçlü yapay zekâ, insan uygarlığının üstel kazanımlarını sürdüreceğini vaat etmektedir. (Daha önce irdelediğim gibi insan uygarlığımızdan türeyen biyolojik olmayan zekâyı insan olarak sayıyorum.) Ancak taşıdığı tehlikeler de, tam da

29 Steve Bowman ve Helit Barel, *Weapons of Mass Destruction: The Terrorist Threa*, Kongre Araştırma Servisinin ABD Kongresine Raporu, 8 Aralık 1999, http://www.cnie.org/nle/crsreports/international/inter-75.pdf.

zekâsının genişlemesi nedeniyle büyüktür. Zekânın, denetlenmesi doğası gereği mümkün değildir, bu nedenle nano teknolojinin denetlenmesi için geliştirilmiş olan çeşitli stratejiler (örneğin, aşağıda betimlenen "yayın mimarisi") güçlü yapay zekâ için geçerli olmayacaktır. Yapay zekâ gelişiminin, Eliezer Yudkowsky'nin "dost yapay zekâ"[30] olarak adlandırdığı şeye doğru yönlendirilmesi konusunda tartışmalar yürütülmüş, öneriler ortaya atılmıştır (*bkz.* s. 420'deki " 'Dost Olmayan' Güçlü Yapay Zekâdan Korunma" bölümü). Bunların tartışılması yararlıdır ancak bugünden, geleceğin yapay zekâsının insanların sahip olduğu etiğe ve değerlere sahip olmasını kesinlikle sağlayacak stratejilerin oluşturulması mümkün değildir.

Geçmişe mi Dönüyoruz? Bill Joy, makale ve sunumlarında yüzyıllar öncesinde yaşanan vebaları etkili bir dille betimler, değişinime uğramış biyomühendislik ürünü patojenler ile kontrolden çıkmış nanobotlar gibi yeni, kendiliğinden kopyalanabilen teknolojilerin uzun zamandır unutulmuş olan salgınları nasıl geri getirebileceğini anlatır. Joy, antibiyotikler ve sağlık önlemlerinin geliştirilmesi gibi, teknolojik ilerlemelerin bizi bu tür vebaların süreğenliğinden kurtardığını ve bu tür yapıcı uygulamaların da bu nedenle sürdürülmesi gerektiğini kabul eder. Dünyada hâlâ acılar çekiliyor; bunların üzerine kararlı bir şekilde gidilmesi gerekiyor. Kanser hastalığından ya da başka birtakım yıkıcı hastalıklardan muzdarip milyonlarca insana, gelecekte bir gün kötü amaçlarla kullanılma olasılıkları nedeniyle sağlık alanında biyomühendislik uygulamalarından vazgeçtiğimizi mi söylemeliyiz? Yanıtı belli olan bu soruyu sorduktan sonra tam da bunu yapmak isteyen bir akım olduğunu fark ediyorum. Ancak insanların büyük çoğunluğu yanıtın böylesine geniş kapsamlı bir vazgeçme olmadığı görüşüne katılacaktır.

İnsanların çektikleri acıları azaltılmak için birbiri ardına elde edilen olanaklar, teknolojik ilerlemenin sürdürülmesi için çok temel bir nedendir. Var olan ve önümüzdeki on yıllarda da hızla sü-

30 Eliezer S. Yudkowsky, "Creating Friendly AI 1.0, The Analysis and Design of Benevolent Goal Architectures" (2001), Tekillik Enstitüsü, http://www.singinst.org/CFAI/; Eliezer S. Yudkowsky, "What Is Friendly AI?" 3 Mayıs 2001, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0172.html.

recek olan belirgin ekonomik kazanımlar da bizi buna itmektedir. İç içe geçmiş birçok teknolojinin aralıksız kazandığı ivme yollarımızı altınla döşemektedir. (Burada çoğul kullanıyorum çünkü teknolojinin tek bir yol olmadığı açıktır.) Rekabetçi bir ortamda bu yollardan geçmek ekonomik bir zorunluluktur. Teknolojik ilerlemeden vazgeçilmesi bireyler, şirketler ve uluslar için ekonomik intihar olur.

Vazgeçme Düşüncesi

Uygarlığın en büyük ilerlemeleri, ortaya çıktıkları uygarlıkları bozmaktan başka bir şey yapmazlar.

—Alfred North Whitehead

Bu bizi, Bill McKibben gibi vazgeçmeyi savunanların tartışmalı önerisi olan vazgeçme konusuna getirir. Bir dereceye kadar vazgeçmenin gelecekte karşılaşacağımız gerçek tehlikelere verilebilecek sorumlu ve yapıcı bir karşılığın parçası olduğuna inanıyorum. Ancak konu tam olarak şudur: Teknolojiden ne ölçüde vazgeçeceğiz?

Dünyanın "Unabomber" [üniversite ve havayolu bombacısı] olarak tanıdığı Ted Kaczynski hepsini terk etmemizi isteyecektir.[31] Bu, ne istenen ne de olabilecek bir şeydir; Kaczynski'nin utanç verici taktiklerinin anlamsızlığı ise yalnızca böyle bir konumlamanın yararsızlığının altını çizmektedir.

Çıkan diğer sesler Kaczynski'ninkinden daha az pervasız olmakla birlikte, aynı şekilde teknolojiden hepten vazgeçilmesini savunmaktadır. McKibben, yeterince teknolojiye sahip olduğumuzu, teknolojinin daha fazla ilerlemesinin durdurulmasını söylemektedir. *Enough: Staying Human in an Engineered Age* adlı son kitabında bir mecazla teknolojiyi birayla kıyaslar: "Bir bira iyidir, iki bira daha da iyi olabilir; ama sekiz birada pişman olacağınız kesin gibidir."[32] Bu düşünce, konunun özünü kaçırmakta, insanların dünyasında hâlâ çekilen ve sürdürülebilir bilimsel ilerlemeyle azaltabileceğimiz acıları göz ardı etmektedir.

---

31 Ted Kaczynski, "The Unabomber's Manifesto," 14 Mayıs 2001, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0182.html.

32 Bill McKibben, *Enough: Staying Human in an Engineered Age* (New York: Times Books, 2003).

Her şey gibi kimi zaman aşırı kullanılsa da yeni teknolojilerin verdiği umutlar, dördüncü bir cep telefonu ya da istenmeyen e-postaların sayısında artış değildir. Bunlar, kanserin ve diğer yıkıcı hastalıkların yenilmesi için teknolojinin mükemmelleştirilmesi, yoksulluğun ortadan kaldırılması için yaygın varsıllık yaratma, birinci endüstri devriminin etkileriyle süregelen çevre kirliliğinin temizlenmesi (bu, McKibben tarafından dile getirilmiş bir hedeftir) ve yüzyıllardır süregelen birçok başka sorunun giderilmesidir.

Yaygın Vazgeçme. Diğer bir tür vazgeçme, yalnızca çok fazla tehlikeli görülebilecek belli alanlardan –örneğin, nano teknoloji– vazgeçilmesi olabilir. Ancak, böylesine büyük çaplı bir vazgeçme girişimi savunulacak bir şey değildir. Yukarıda işaret ettiğim gibi nano teknoloji, en basit ifadeyle, tüm teknolojiye yayılarak onun bir parçası olan minyatürleşmeye doğru kalıcı eğilimin kaçınılmaz sonucudur. Merkezi tek bir çabanın çok ötesindedir, çok farklı hedefleri olan sınırsız sayıda projenin konusudur.

Bir gözlemci şöyle yazmıştır:

Endüstri toplumunda reform yapılamamasının bir başka nedeni ... modern teknolojinin, bütün parçalarının birbirlerine bağımlı olduğu birleşik bir sistem olmasıdır. Teknolojinin "kötü" parçalarını atıp "iyi" parçalarını tutamazsınız. Örneğin modern tıbbı düşünün. Tıp bilimindeki ilerlemeler, kimya, fizik, biyoloji, bilgisayar ve diğer alanlardaki ilerlemelere bağlıdır. İleri tıbbi sağaltım yöntemleri, yalnızca teknolojide ileri ve ekonomik zenginliğe sahip bir toplumun sağlayabileceği pahalı, yüksek teknoloji ürünü donanım gerektirir. Teknolojik sistemin tamamı ve onunla birlikte olması gereken her şey olmadan, tıpta fazla ilerleme kaydedemezsiniz.

Burada sözlerini aktardığım gözlemci Ted Kaczynski'dir.[33] Kaczynski'nin otoritesine haklı olarak karşı çıkılabilecek olsa da, yararların ve risklerin derinden iç içe geçmiş olduğu konusunda haklı olduğunu düşünüyorum. Ancak Kaczynski ile bu ikisinin arasındaki göreli dengenin genel değerlendirmesi konusunda net biçimde ayrılıyoruz. Bill Joy ile aramızda, hem toplum önünde hem de özel konuşmalarda bu konuda bir diyalog süregelmekte;

33 Kaczynski, "The Unabomber's Manifesto."

her ikimiz de teknolojinin ilerleyeceğine, ilerlemesi gerektiğine ve bu ilerlemenin karanlık yüzüyle kararlı bir şekilde ilgilenmemiz gerektiğine inanıyoruz. Vazgeçmenin nasıl olması gerektiği ise en zorlu konu.

Ayrıntılarda Vazgeçme. Doğru düzeyde vazgeçmenin, yirmi birinci yüzyıl teknolojilerimizin tehlikelerine gösterdiğimiz etik tepkinin bir parçası olması gerektiğine inanıyorum. Bunun yapıcı örneklerinden biri, Foresight Enstitüsünün önerdiği etik rehberdir: Yani, nano teknologların, doğal ortamlarda kendiliğinden kopyalanabilen fiziksel varlıkların gelişiminden vazgeçilmesini kabul etmeleri.[34] Bence, iki durumu bunun dışında tutabiliriz. Birincisi, er ya da geç, gezegenimizde nano teknoloji tabanlı bir bağışıklık sistemi (kendiliğinden kopyalanan haydut nanobotlara karşı korunma için doğal ortama yerleştirilmiş nanobotlar) oluşturmamız gerekecektir. Robert Freitas'la böyle bir bağışıklık sisteminin de kendiliğinden kopyalanma özelliği taşıması gerekip gerekmediğini tartıştık. Freitas şöyle yazar: "Kapsamlı bir izleme sisteminin, ilişkisinin tanımlı olduğu kaynaklarla eşleştirilmesi –belirli tehditlere karşı, kendiliğinden kopyalanma özelliği taşımayan savunucuları büyük miktarda üretebilecek kadar yüksek kapasiteye sahip, kendiliğinden kopyalanmayan nanofabrikalar– yeterli olacaktır."[35] İlişkileri tanımlanmış, savunucularını besleyebilme yeteneğine sahip bir bağışıklık sisteminin ilk aşamalarda yeterli olacağı konusunda Freitas'a katılıyorum. Ancak güçlü yapay zekâ nano teknolojiyle birleşip, nano mühendislik ürünü varlıkların ekolojisi büyük ölçüde farklılıklar göstererek karmaşıklaştığı za-

---

34 Foresight Enstitüsü ve IMM, "Foresight Guidelines on Molecular Nanotechnology," 21 Şubat 1999, http://www.foresight.org/guidelines/current.html; Christine Peterson, "Molecular Manufacturing: Societal Implications of Advanced Nanotechnology," 9 Nisan 2003, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.++ html?main=/articles/art0557.html; Chris Phoenix ve Mike Treder, "Safe Utilization of Advanced Nanotechnology," 28 Ocak 2003, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0547.html; Robert A. Freitas Jr., "The Gray Goo Problem," KurzweilAI.net, 20 Mart 2002, http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0142.html.

35 Robert A. Freitas Jr., Ray Kurzweil'la özel iletişim, Ocak 2005. Freitas'ın önerisini ayrıntılı olarak betimlediği kaynak: Robert A. Freitas Jr., "Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators, with Public Policy Recommendations."

man savunma nano robotlarının bulundukları yerde kopyalanma yeteneğine gereksinim duyacaklarını sanıyorum. Diğer durum ise, güneş sistemimizin dışındaki gezegen sistemlerini araştıracak, kendiliğinden kopyalanan nanobot tabanlı sondalara duyulan gereksinimdir.

Yararlı etik ilkelere diğer bir iyi örnek, kendiliğinden kopyalanma işlemi için kendi kodlarına sahip kendiliğinden kopyalanan fiziksel varlıklara konan yasaktır. Nano teknolog Ralph Merkle'nin "yayın mimarisi" olarak adlandırdığı şeyde bu tür varlıkların bu kodları merkezi bir güvenli sunucudan almaları gerekir, bu da istenmeyen kopyalanmalara karşı bir koruma oluşturur.[36] Yayın mimarisinin biyolojik dünyada uygulanması mümkün değildir, yani, nano teknolojinin, biyoteknolojiden daha güvenli olmasını sağlamanın en az bir yolu vardır. Diğer bakımlardan nano teknoloji potansiyel olarak daha tehlikelidir çünkü nanobotlar, protein tabanlı varlıklardan fiziksel olarak daha güçlü ve daha zeki olabilirler.

Beşinci bölümde betimlediğim gibi, nano teknoloji tabanlı bir yayın mimarisini biyolojiye uygulamamız mümkündür. Bir nanobilgisayar her hücrenin çekirdeğini büyüterek ya da yerine yenisini koyarak DNA kodlarını sağlayabilir. Ribozomlara benzer moleküler makineleri içeren bir nanobot (çekirdeğin dışındaki haberci RNA'da baz çiftlerini yorumlayan moleküller) bu kodları alıp, amino asit zincirleri oluşturabilecektir. Nanobilgisayarı kablosuz iletilerle denetleyebileceğimize göre, istenmeyen kopyalanmaları durdurabilir, böylelikle kanseri yok edebiliriz. Hastalıkla mücadele için gerekli özel proteinleri üretebiliriz. DNA hatalarını de düzeltebilir, DNA kodunu yükseltebiliriz. Yayın mimarisinin güçlü ve zayıf yanlarını irdelemeyi aşağıda sürdüreceğim.

Kötüye Kullanımın Denetlenmesi. Tümden vazgeçme ekonomik gelişmeye terstir. Ayrıca, hastalıkları dindirmek, yoksulluğu yenmek, çevreyi temizlemek konusundaki fırsatlar dikkate alındığında etik olarak haklı bir gerekçesi yoktur. Yukarıda belirtildiği gibi, tümden vazgeçme tehlikeyi şiddetlendirecektir. Güvenlik düzenlemeleri –temelde ayrıntılarda vazgeçme– uygun olacaktır.

36 Ralph C. Merkle, "Self Replicating Systems and Low Cost Manufacturing," 1994, http://www.zyvex.com/nanotech/selfRepNATO.html.

Ancak düzenleme sürecinin akışını da düzenlememiz gerekir. Şu an Amerika Birleşik Devletleri'nde, Gıda ve İlaç Kurumunun onayı gerektiğinden yeni sağlık teknolojilerinde beş ile on yıl arasında bir gecikme yaşıyoruz (diğer ülkelerde de benzer süreler söz konusu). Yaşam kurtaran sağaltım yöntemlerinin bekletilmesinin doğurduğu zararlar (örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde kalp hastalığı sağaltım yöntemlerini geciktirdiğimiz her yıl bu nedenle bir milyon can kaybı olmaktadır), yeni tedavi yöntemlerinin olası risklerine kıyasla çok daha az dikkate alınmaktadır.

Diğer korunma yöntemleri de düzenleyici kurumların gözetimini, teknolojilere özel "bağışıklık" tepkilerinin geliştirilmesini ve yasa yürütme organlarınca yürütülecek bilgisayar destekli denetimleri gerektirecektir. Birçok kişi, istihbarat örgütlerimizin, örneğin telefon, kablo, uydu ve internet üzerinden yürütülen belli iletişimleri izlemek için otomatik anahtar sözcük saptama yöntemleri gibi ileri teknolojileri çoktan kullanmakta olduğunun farkında değildir. İlerleme sürdükçe, değer verdiğimiz gizlilik haklarımız ile yirmi birinci yüzyılın güçlü teknolojilerinin kötü niyetli kullanımları arasında denge kurulması, en temel hedeflerimizden biri olacaktır. "Tuzak kapılı" şifreleme (yasa yürütme organlarının, normal olarak güvenli koruma altında olacak bilgiye erişimini sağlayan), FBI'ın Carnivore e–posta izleme sistemi gibi konuların tartışmalı olmasının nedeni budur.[37]

Bu tür durumlarla nasıl baş ettiğimize örnek olarak son dönemde yaşadığımız teknolojik bir zorluğu nasıl yendiğimize bakmak içimizi bir ölçüde rahatlatabilir. Bugün, bundan yirmi, otuz yıl öncesine kadar bulunmayan, hiçbir şekilde biyolojik olmayan ve kendiliğinden kopyalanabilen yepyeni bir varlık var: Bilgisayar virüsü. Böylesine yıkıcı davetsiz misafir ilk kez ortaya çıktığında, bunlar geliştikçe, yazılım patojenlerinin, içinde barındıkları bilgisayar ağ ortamlarını çökertebilme potansiyeli taşıdıkları gür seslerle dile getirildi. Ancak bu soruna karşılık geliştirilen "bağışıklık sistemi" bilgisayar virüslerine karşı çok etkili oldu. Yıkıcı özelliğe sahip kendiliğinden kopyalanan yazılım varlıkları zaman

37 Neil King Jr. ve Ted Bridis, "FBI System Covertly Searches E–mail," *Wall Street Journal Online* (10 Temmuz 2000), http://zdnet.com.com/2100-11-522071.html?legacy=zdnn.

zaman zarar vermeyi başarsalar da, verdikleri zarar, bilgisayarlardan ve bilgisayarların kullandıkları iletişim bağlantılarından sağladığımız yararlara kıyasla ancak küçük bir kesirdir.

Buna, bilgisayar virüslerinin, biyolojik virüsler ya da yıkıcı nano teknoloji gibi ölümcül potansiyel taşımadıkları söylenerek karşı çıkılabilir. Ancak durum her zaman böyle değildir. 911 acil yardım hattını çalıştırabilmek, yoğun bakımda yatan hastaları gözlem altında tutabilmek, uçakların havalanıp yere inmelerini sağlamak, askeri harekâtlarda zeki silahları yönlendirebilmek, finans işlemlerimizi yürütebilmek, belediye hizmetlerini verebilmek ve daha birçok yaşamsal görevi yerine getirebilmek için hep yazılıma gereksinim duyuyoruz. Yazılım virüslerinin şu ana kadar ölümcül tehlike oluşturmaması tezimi yalnızca güçlendirir. Yazılım virüslerinin çoğunlukla insan ölümlerine yol açmaması, yalnızca daha fazla insanın bu virüsleri yaratıp ortaya salmak istemesi anlamına gelmektedir. İnsan ölümlerine neden olacağını düşünseler, yazılım virüslerini geliştirenlerin büyük çoğunluğu bu virüsleri ortaya çıkarmazlardı. Bu, bizim bu tehlike karşısındaki tepkimizin çok daha az şiddetli olduğu anlamına da gelir. Diğer yandan, tam tersine, büyük ölçüde ölümcül olma potansiyeli taşıyan, kendiliğinden kopyalanan varlıklar söz konusu olduğunda göstereceğimiz tepki tüm düzeylerde çok daha ciddi boyutlarda olacaktır.

Yazılım patojenleri sorun olmaya devam etse de bugün için oluşturdukları tehlike yalnızca can sıkıcı bir düzeydedir. Bu virüslere karşı yürüttüğümüz savaşımın, hiçbir düzenlemenin olmadığı, bu alanda çalışan profesyoneller için çok kısıtlı sertifikasyonun bulunduğu bir endüstride yer aldığını unutmayın. Büyük çapta düzenleme eksiklikleri olan bilgisayar endüstrisi, muazzam üretken bir endüstridir. Bilgisayar endüstrisinin, kaydettiğimiz teknolojik ve ekonomik ilerlemeye, insanlık tarihindeki tüm diğer girişimlerden çok daha fazla katkısı olduğunu söyleyebiliriz.

Yazılım virüslerine karşı savaşım da, yazılım patojenlerinin ortaya çıkması da hiçbir zaman son bulmayacaktır. Çalışmalarımızı yürütebilmek için o işe özel yazılıma giderek daha fazla bağımlı oluyoruz. Kendiliğinden kopyalanan yazılım silahlarının yıkıcılık potansiyeli de artmaya devam edecektir. Beyinlerimizde ve bedenlerimizde yazılım çalıştırmaya ve dünyadaki nanobot ba-

ğışıklık sistemini denetlemeye başladığımız zaman, getiriler ve riskler kıyaslanamayacak ölçüde artacaktır.

Köktencilik Tehdidi. Dünya, köktenciliğin, radikal İslam terörizmi biçiminde ortaya çıkan, özellikle kötücül bir türüyle savaşım içindedir. Bu teröristlerin yıkıcılık dışında bir planları yok gibi görünmekle birlikte, dini metinlerin yalın yorumlarının çok ötesine geçen bir gündemleri vardır: Bu, temel olarak demokrasi, kadın hakları ve eğitim gibi modern düşüncelerde saatin tersine çalıştırılmasıdır.

Ancak dinsel aşırılık, gerici bir güç oluşturan tek köktencilik biçimi değildir. Birinci bölümün başında, Greenpeace'in kurucularından Patrick Moore'un kuruluşuna destek verdiği harekete ilişkin düş kırıklığını belirten sözlerini aktardım. Moore'un Greenpeace'e desteğini sarsan olay, yüksek düzeyde beta karoten içermek üzere genetiği değiştirilen ve ana maddesi vitamin A olan Altın Pirince karşı çıkmasıdır.[38] Afrika'da ve Asya'da yüz milyonlarca insan yeterli miktarda A vitamini alamazken, her yıl yarım milyon çocuk A vitamini eksikliği nedeniyle kör olmakta, milyonlarca çocuk da bu nedenle çeşitli hastalıklara yakalanmaktadır. Günde yaklaşık 200 gram Altın Pirinç, bir çocuğun A vitamini gereksiniminin yüzde 100'ünü karşılayacaktır. Yürütülen kapsamlı araştırmalar, genetiği değiştirilmiş daha birçok organizma gibi, bu tahılında güvenli olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin 2001'de Avrupa Komisyonu, genetiği değiştirilmiş organizmaların "geleneksel yöntemlerle yetiştirilen bitkiler için de geçerli, olağan belirsizlikler dışında insan sağlığı ya da çevre için yeni riskler taşımadığı" sonucunu ortaya koyan seksen bir araştırma yayımladı. Gerçekten de daha hassas teknolojilerin kullanımı ve daha sıkı düzenleyici denetimle bu tür organizmalar büyük olasılıkla geleneksel bitki ve gıdalardan daha da güvenli hale gelebilecektir.[39]

Söylemek istediğim genetiği değiştirilmiş tüm organizmaların doğal olarak güvenli olduğu değildir; her ürüne güvenlik testleri-

---

38 Patrick Moore, "The Battle for Biotech Progress—GM Crops Are Good for the Environment and Human Welfare," *Greenspirit* (Şubat 2004), http://www.greenspirit.com/logbook.cfm?msid=62.

39 "GMOs: Are There Any Risks?" Avrupa Komisyonu (9 Ekim 2001), http://europa.eu.int/comm/research/biosociety/pdf/gmo_press_release.pdf.

nin uygulanması tabii ki gereklidir. Ancak genetiği değiştirilmiş organizmalara karşı çıkış, bu tür her organizmanın doğası gereği zararlı olduğu görüşünü benimsemekte, bu görüş de herhangi bir bilimsel temele dayanmamaktadır.

Greenpeace'in ve genetiği değiştirilmiş organizmalara karşı çıkan diğer eylemcilerin baskıları sonucu Altın Pirincin piyasaya çıkarılması en az bir beş yıl ertelendi. Bu gecikmenin daha milyonlarca çocuğun görme yetisini yitirmesine neden olacağını gören Moore, bu tahıla karşı çıkanların, "çiftçiler bu bitkiyi ekmeğe kalkışırlarsa, genetiği değiştirilmiş pirinci tarlalardan söküp alma" tehdidinde bulunduklarını aktarmakta. Yine aynı biçimde, Afrika uluslarına genetiği değiştirilmiş gıdalar içeren yardımları ve genetiği değiştirilmiş tohumları reddetmeleri için baskı uygulanmış, bu da yaşanan kıtlık koşullarını daha da zorlaştırmıştır.[40] Genetiği değiştirilmiş organizmalar gibi, kanıtlanmış teknolojik yeteneklerin kullanılmasıyla yaşanan bu büyük sorunlar eninde sonunda çözülecektir, ama akıldışı karşı çıkışların neden olduğu bu geçici ertelemeler gereksiz acıların çekilmesine neden olacaktır.

Çevreci hareketin belli kesimleri, köktenci Luddculara dönüştüler. Her şeyi şu anda (ya da eskiden) olduğu gibi korumak için yanlış yönlendirilmiş çabaları nedeniyle "köktenciler;" ciddi boyutlardaki sorunlara getirilen teknolojik çözümlere karşı tepkisel duruşları nedeniyle de "Luddcudurlar." İronik olan, böcek ilaçları gibi kimyasalların çevreye verdikleri zararların önlenmesinde en çok umut verenler –birçoğu böceklere ve diğer türden bitki hastalıklarına karşı dayanıklı olarak üretilen, böylece ya hiç ya da çok düşük miktarlarda kimyasal kullanımı gerektiren– genetiği değiştirilmiş bitkilerdir.

Aslında bu grupları "köktenci Luddcular" olarak nitelemem gereksiz çünkü Luddculuk doğası gereği köktencidir; insanlığın değişim ve ilerleme olmadan daha iyi durumda olacağını düşünür. Bu bizi, yeniden vazgeçme düşüncesine getirir, çünkü genel olarak teknolojiden vazgeçme isteği, çevreci hareketin Luddcu kesimini oluşturan aynı düşünsel kaynaklardan ve eylemci gruplardan gelmektedir.

---

40 Rory Carroll, "Zambians Starve As Food Aid Lies Rejected," Guardian (17 Ekim 2002), http://www.guardian.co.uk/gmdebate/Story/0,2763,813220,00.html.

Köktenci Hümanizm. G ve N teknolojilerinin artık bedenlerimizi ve beyinlerimizi değiştirmeye başlamasıyla birlikte ilerlemeye karşı gösterilen direnç "köktenci hümanizm" biçiminde ortaya çıkmıştır: İnsan olmanın anlamının doğasındaki her tür değişime direnç (örneğin, genlerimizin değiştirilip, insanın yaşam süresinin köklü biçimde uzatılması). Ancak, 1.0 sürümlü bedenlerimizin doğasının getirdiği acı ve hastalıkları, kısa yaşam süresini yenecek sağaltım yöntemlerinin çekiciliği karşı konulmaz hale geleceğinden bu çaba da sonunda başarısız olacaktır.

Sonunda, insan uygarlığının kuşaklar boyu savaştığı sorunlara çare bulabilmek için gereksinilen gücü sağlayabilecek olan yalnızca teknoloji, özellikle de GNR teknolojisidir.

Savunma Teknolojilerinin Gelişimi ve Düzenlemelerin Etkileri

Yaygın vazgeçme çağrılarının destek bulmasının nedenlerden biri, gelecekte ortaya çıkabilecek tehlikelerin bugünün hazırlıksız dünyasında baş göstereceğini varsayan bir tablo çizmeleridir. Aslında, savunma konusundaki bilgi ve teknolojimizin kapsamlılığı ve gücü de tehlikelerle birlikte artacaktır. Gri yapışkan (nanobotların kontrol dışı kopyalanması) türünden bir olgu karşısında "mavi yapışkanı" ("kötü" nanobotlarla savaşan "polis" nanobotlar) bulacaktır. Tüm kötüye kullanımların önüne geçmede tam bir başarı sağlayacağımızın garantisini vermemiz tabii ki mümkün değildir. Ancak etkili savunma teknolojilerinin gelişimini engellemenin en kesin yolu bazı geniş kapsamlı alanlardaki bilgi arayışından vazgeçilmesi olacaktır. Gerekli bilgilerin, sorumluluk sahibi uzmanlara yaygın biçimde sağlanması sayesinde zararlı yazılım virüslerinin çoğalmasını büyük ölçüde kontrol edebildik. Bu tür bilginin kısıtlanması çabaları çok daha az dengeli durumlara yol açardı. Yeni sorunlar karşısında çok daha yavaş tepki gösterilebilir, ağırlık, daha yıkıcı olan (kendiliğinden değişen yazılım virüsleri gibi) uygulamalardan yana kayabilirdi.

Tasarlanmış yazılım virüslerinin denetlenmesinde elde ettiğimiz başarıya kontrollü olarak üretilecek biyolojik virüslerin ortaya koyacağı durumlar açısından bakarsak, çözümlenmesi gereken önemli tek bir farkın olduğunu görürüz. Yukarıda belirttiğim gibi,

yazılım endüstrisi neredeyse bütünüyle denetimsizdir. Bu durum biyoteknolojide söz konusu değildir. Bir biyoteröristin "icatlarını" Amerikan Gıda ve İlaç Kurumuna onaylatması gerekmezken, savunma teknolojilerini geliştiren bilim insanlarının geçerli düzenlemelere uymalarını bekleriz, bu düzenlemeler de icat sürecini her bir adımda yavaşlatır. Üstelik var olan düzenlemeler ve etik standartlarla bu savunma sistemlerinin biyoterörist unsurlara karşı sınanmaları mümkün değildir. Bu düzenlemelerin değiştirilerek, insanlar üzerindeki yararsız denemelerin yerine hayvan modelleri ve simülasyonların kullanımına izin verilmesi konusunda yoğun tartışmalar sürmektedir. Bu gerekecektir ama yaşamsal gerekliliği olan savunma teknolojilerinin geliştirilmesini hızlandırmak için bu adımların ötesine geçmemiz gerekeceğini düşünüyorum.

Kamu politikaları açısından şu anda yapmamız gereken iş, etik standartları, yasal standartları ve doğrudan savunma teknolojilerini kapsayacak biçimde, savunmayla ilgili gerekli adımların hızla atılmasıdır. Bunun bir yarış olduğu gayet açıktır. Belirttiğim gibi, savunma teknolojileri, yazılım alanında, saldırgan teknolojilerdeki icatlara hızla karşılık vermiştir. Tıp alanındaysa bunun tersine, ayrıntılı düzenlemeler yeni buluşları yavaşlattığı için biyoteknolojinin kötüye kullanımı söz konusu olduğunda aynı güveni bulamayız. Bugünün ortamında bir kişi gen terapisi denemeleri sırasında yaşamını yitirdiğinde ilgili araştırma son derece kısıtlanabilmektedir.[41] Biyomedikal araştırmanın mümkün olduğunca güvenli hale getirilmesinin geçerli nedenleri bulunmaktadır ancak risk dengesi bütünüyle çarpıtılmıştır. Gen terapisi ile diğer biyoteknolojik ilerlemelerin vaat ettiği gelişmelere milyonlarca insanın acilen ihtiyacı var, ancak bu gelişmeler ilerlemenin kaçınılmaz risklerine kurban giden bir avuç örnek üzerinden yürütülen kampanyalar nedeniyle siyasette çok az yankı yaratmakta.

Biyomühendislik ürünü patojenlerin gelişmekte olan tehlikelerini dikkate aldığımızda bu risk dengeleme denklemi daha da netleşecektir. Göze alınması gereken risklerin hoşgörüyle karşılanmasında kamuoyunun tutumunun değişmesi gerekir. Savunma

41 Larry Thompson, "Human Gene Therapy: Harsh Lessons, High Hopes," *FDA Consumer Magazine* (Eylül–Ekim 2000), http://www.fda.gov/fdac/features/2000/500_gene.html.

teknolojilerini geliştirmenin hızlandırılması güvenliğimiz açısından yaşamsal öneme sahiptir. Bunu başarabilmek için düzenleyici yöntemlerin büyük oranda etkinleştirilip kolaylaştırılmalıdır. Ayrıca, özellikle savunma teknolojilerine yaptığımız yatırımları büyük oranda artırmamız gereklidir. Karşımıza çıkan her yeni duruma göre belirli karşı önlemleri formüle etmeye zamanımız olmayacaktır. RNA engellemesi gibi genelleştirilmiş antiviral teknolojileri geliştirmeye daha yatkınız, bunun da hızlandırılması gereklidir.

Burada biyoteknolojiyi ele almamızın nedeni, bugün yeni bir başlangıç eşiği ve durumla karşı karşıya olmamızdır. Kendiliğinden düzenlenen nano teknolojinin eşiğine yaklaştıkça, özellikle bu alandaki savunma teknolojilerine, teknolojik bağışıklık sistemi de dahil, yatırım yapmamız gerekecektir. Biyolojik bağışıklık sistemimizin nasıl çalıştığını düşünün. Beden bir patojenin varlığını saptadığında, T hücreleri ile bağışıklık sisteminin diğer hücreleri bu istilacıyla savaşmak için kendilerini hızla kopyalarlar. Nano teknoloji için oluşturulacak bir bağışıklık sistemi de hem insan bedeninde hem de çevrede benzer biçimde çalışacak, ayrıca kendiliğinden kopyalanma özelliği taşıyan haydut nanobotları saptayabilecek nanobot gözcülere sahip olacaktır. Bir tehdit saptandığında, etkili bir savunma gücü oluşturabilmek amacıyla davetsiz misafirleri yok edecek savunma nanobotları hızla (sonuçta yine kendiliğinden kopyalanma yöntemiyle) yaratılabilecektir.

Bill Joy ve diğer bazı gözlemciler, potansiyel "otoimmün" tepki (yani, bağışıklık sistemi nanobotlarının savunmaları gereken dünyaya saldırmaları) potansiyelini barındırması nedeniyle, böyle bir bağışıklık sisteminin doğrudan kendisinin tehlikeli olacağına işaret ettiler.[42] Ancak bu olasılık bir bağışıklık sisteminin yaratılmasından kaçınmayı zorunlu kılan bir neden değildir. Otoimmün hastalıkların ortaya çıkma potansiyeli nedeniyle kimse insanların bağışıklık sistemlerinin olmamasının daha iyi olacağını öne süremez. Otoimmün sistemin kendisi tehlike oluşturur gibi görünse de bağışıklık sistemi olmadan (fazladan direnç gösterilmesinin engellenmesiyle) insanların birkaç haftadan uzun yaşamaları mümkün olmazdı. Bu durumda bile nano teknoloji için

42 Bill Joy, "Why the Future Doesn't Need Us."

teknolojik bağışıklık sisteminin geliştirilmesi, bu konuda belirgin çabalar gösterilmese de gerçekleşecektir. Yazılım virüsleri konusunda etkin biçimde yaşanan durum budur. Bağışıklık sistemi büyük bir tasarının projesinin yürütülmesiyle değil, daha çok ortaya çıkan her sorun karşısında öncekilerin üzerine kurularak geliştirilen tepkilerle ve erken saptama için buluşsal algoritmaların geliştirilmesiyle oluşturulmuştur. Nano teknolojiden kaynaklanan tehlikeler ortaya çıktıkça aynı şeyin olacağını bekleyebiliriz. Burada kamu politikalarını ilgilendiren nokta, özellikle bu savunma teknolojilerine yatırım yapmaktır.

Bugün belirli savunma nano teknolojilerinin geliştirilmesi için henüz çok erkendir, çünkü bugün neye karşı savunma yapmak istediğimiz hakkında yalnızca genel bir fikir sahibiyiz. Bununla birlikte, bu konu üzerinde öngörüde bulunan verimli konuşma ve tartışmalar bugünden yürütülmekte; bu çabalara yapılacak önemli yatırımlar da teşvik edilmektedir. Buna bir örnek olarak, Foresight Enstitüsü, yukarıda belirttiğim gibi, güvenli nano teknolojinin gelişimini sağlamak amacıyla biyoteknoloji ilkelerine dayanarak bir dizi etik standardı ve stratejisi geliştirdi.[43] 1975'te gen ekleme çalışmaları başladığı zaman Maxine Singer ve Paul Berg adlı iki biyolog, kaygı duyulan güvenlik konuları ele alınıncaya kadar bu teknolojinin ertelenmesini önermişlerdi. Sıradan grip gibi kolay yayılan patojenlere zehir genleri verilmesi durumunda büyük bir risk altına girileceği açıktı. On aylık bir ertelemenin ardından, Asilomar konferansında ilkeler üzerinde anlaşmaya varıldı; bunlar, fiziksel ve biyolojik korunmanın koşullarını, belli tür deneylere yasakların getirilmesini ve çeşitli başka koşul-

43 Foresight İlkeleri (Foresight Enstitüsü, sürüm 4.0, Ekim 2004, http://www.foresight.org/guidelines/current.html), nano teknolojinin olumlu ve olumsuz potansiyel sonuçlarını ele alan biçimde hazırlanmıştır. İlkeler, yurttaşları, şirketleri ve hükümetleri bilgilendirerek, nano teknoloji tabanlı moleküler üretimin sorumlu biçimde geliştirilmesinin belirli esaslarını vermektedir. Foresight İlkeleri ilk olarak 19–21 Şubat 1999'da, Enstitü ile Moleküler Üretim Enstitünün (IMM) sponsorluğunda gerçekleştirilen Moleküler Nano teknoloji Araştırma İlkeleri Çalıştayında oluşturulmuştur. Katılımcılar arasında James Bennett, Greg Burch, K. Eric Drexler, Neil Jacobstein, Tanya Jones, Ralph Merkle, Mark Miller, Ed Niehaus, Pat Parker, Christine Peterson, Glenn Reynolds ve Philippe Van Nedervelde yer almıştır. İlkeler birkaç kez güncellenmiştir.

ları içeriyordu. Bu biyoteknoloji ilkelerine sıkı sıkıya uyulmasıyla bu alanın otuz yıllık geçmişinde bugüne kadar herhangi bir kaza bildirilmedi.

Daha yakın bir dönemde, organ nakli cerrahlarını dünya çapında temsil eden kuruluş, hayvanlardan alınan damarlı organların insanlara nakli işlemlerinin ertelenmesi kararını aldı. Bu karar, uzun süredir uykuda olan HIV tipi ksenovirüslerin, domuz ya da babun gibi hayvanlardan insanlara yayılması korkusuyla alınmıştı. Ne yazık ki böyle bir erteleme kararı her yıl kalp, böbrek ve karaciğer hastalıkları nedeniyle yaşamlarını kaybeden milyonlarca insanın yaşamını kurtarmayı sağlayan ksenografların (insanın bağışıklık sisteminin kabul ettiği genetiği değiştirilmiş hayvan organları), bulunurluğunu da azaltabilmekte. Jeoetik uzmanı Martine Rothblatt, bu ertelemenin yerine bir dizi etik ilke ve kuralın uygulanmasını önerdi.[44]

Nano teknoloji konusundaysa etik tartışmaları, özellikle tehlikeli uygulamaların ortaya çıkmasından birkaç on yıl öncesinden başladı. Foresight Enstitüsünün belirlediği ilkelerin en önemli koşulları şunları içermektedir:

- "Yapay çoğaltıcıların doğal, kontrolsüz ortamda kopyalanamaması gerekir."
- "Kendiliğinden kopyalanan üretim sistemi kapsamında evrim teşvik edilmemektedir."
- "MNT aygıtı tasarımlarında üreme özellikle sınırlanmalı, kopyalama sistemlerinin takibi sağlanmalıdır."
- "Moleküler üretimi *geliştirme* olanaklarının dağılımı mümkün olduğunca, İlkeleri benimsemeyi kabul eden, sorumluluk sahi-

44 United Therapeutics'in İcra Kurulu Başkanı Martine Rothblatt, bu ertelenmenin yerine düzenleyici bir sistem getirilmesini önermiştir. Bu sistemde, yeni kurulacak bir Uluslararası *Ksenotransplantasyon* Kurumu, genetiği değiştirilmiş domuz sürülerini denetleyerek, uygun ksenograf kaynağı olarak onaylayacaktır. Rothblatt'ın önerdiği çözüm aynı zamanda, UKK'ye üye olan ve ülke sınırları içinde kuralları uygulayan her ülkeye, organ gereksinimi olan yurttaşlarına belli eşit miktarlarda patojenden arındırılmış ksenograflar da sağlayarak, haydut cerrahların kökünün kazınmasına yardım etmektedir. *Bkz.* Martine Rothblatt, "Your Life or Mine: Using Geoethics to Resolve the Conflict Between Public and Private Interests," Xenotransplantation içinde (Burlington, Vt.: Ashgate, 2004). Açıklama: Ben, United Therapeutics şirketinin yönetim kurulu üyesiyim.

bi aktörlerle kısıtlanmalıdır. Bu tür kısıtlamaların geliştirme süreci sonucunda elde edilen son ürünlere uygulanmasına gerek yoktur."

Foresight Enstitüsünün önerdiği diğer stratejiler arasında şunlar yer alır:

- Kopyalama işlemi, doğal ortamda bulunmayan malzemeyi gerektirmelidir.
- Üretim (kopyalama), son ürünün işlevinden ayrı tutulmalıdır. Üretim aygıtları son ürün yaratabilir ancak kendilerini kopyalayamazlar, son ürünlerin ise kopyalanma yeteneği bulunmamalıdır.
- Kopyalanma işlemi, şifreli ve zaman sınırlı kopyalama kodları gerektirmelidir. Daha önce belirtilen yayın mimarisi bu öneriye bir örnektir.

Bu ilke ve stratejiler, kendiliğinden kopyalanma yeteneğine sahip tehlikeli varlıkların kaza sonucu ortaya salınmasının önlenmesinde büyük olasılıkla etkili olacaktır. Ancak bu tür varlıkların bilinçli olarak tasarlanıp, kasıtlı olarak ortaya salınması, baş edilmesi çok daha karmaşık ve zorlu bir sorundur. Yeterince kararlı ve yıkıcı bir rakibin bu korunma katmanlarının her birini alt etmesi mümkündür. Örneğin yayın mimarisini ele alalım. Düzgün biçimde tasarlandığında, hiçbir varlık, kopyalanma kodu olmadan kendiliğinden kopyalanamayacak, bu kodlar da bir kuşaktan diğerine yinelenmeyecektir. Ancak, bu tasarımda yapılacak bir değişikliğin, kopyalanma kodlarının yok edilmemesini, dolayısıyla da bu kodların sonraki kuşaklara aktarılmasını sağlaması mümkündür. Bu olasılığa karşı koyabilmek için, kopyalanma kodlarının belleklerinin, kodun tamamının yalnızca bir alt kümesiyle sınırlandırılması önerildi. Ama bellek boyutunun büyümesiyle bu yöntemin de atlatılması mümkündür.

Önerilen bir diğer korunma yöntemi kodların şifrelenerek, şifre çözme sistemlerine, zaman aşımı süresi gibi sınırlamalardan oluşan koruma yerleştirilmesidir. Ancak müzik dosyaları gibi fikri mülkiyet kapsamındaki dosyalarda olduğu gibi, izinsiz kopyalanmaya karşı korumaların ne kadar kolay kırıldığını görüyoruz.

Kopyalanma kodları ve koruyucu katmanlar devreden çıkarıldığında bilginin kısıtlamasız kopyalanması mümkündür.

Bu, korumanın olanaksız olduğu anlamına gelmez. Bu, daha çok, her koruma düzeyinin yalnızca belli bir ayrıntı düzeyinde çalışması demektir. Buradan çıkarılması gereken ders, yirmi birinci yüzyıl toplumunun savunma teknolojilerinin geliştirilmesinin sürdürülmesine en büyük önceliği vermesi, bu teknolojileri yıkıcı teknolojilerin bir ya da birkaç adım önünde (ya da en azından hemen gerisinde) tutması gerektiğidir.

"Dost Olmayan" Güçlü Yapay Zekâdan Korunma. Bununla birlikte, yayın mimarisi kadar etkili bir düzenek bile güçlü yapay zekânın kötü niyetli kullanımlarına karşı koruma işlevini karşılayamayacaktır. Yayın mimarisinin sağladığı engeller, nano mühendislik ürünü varlıkların zekâdan yoksun olması üzerine kurulmuştur. Ancak zeki varlıklar, tanımları gereği bu tür engellerin kolaylıkla üstesinden gelebilecek zekâya sahiptirler.

Eliezer Yudkowsky, güçlü yapay zekânın kendi tasarımına erişip bu tasarımı değiştirebilecek yöntemleri elde ettiğinde de biyolojik insana dost, insan değerlerini destekleyen tavırda olmasını sağlayabilecek paradigma, mimari ve etik kuralların ayrıntılı çözümlemesini yaptı. Yudkowsky kendi kendini geliştiren güçlü yapay zekâ eski durumuna döndürülemeyeceği için, "ilk kezinde doğruyu başarmamız gerektiğine" ve bu ilk örneğin "sıfır geri alınamaz hatayla" tasarlanmasının zorunlu olduğuna işaret etmektedir.[45]

Özünde, güçlü yapay zekâya karşı mutlak koruma hiç olmayacaktır. Çözümü zor bir tartışmanın konusu olmasına karşın, birbiri üzerine gelişen bilimsel ve teknolojik ilerlemeler için atılan

---

45 *Bkz.* Tekillik Enstitüsü, http://www.singinst.org. *Ayrıca bkz.* yukarıdaki 30. not. Yudkowsky, insana yakın ya da insandan ileri yapay zekâlar mümkün olmadan da önce, "iyi niyetli sonuçlara götürecek bilişsel içerik oluşturmak, özellikler ve bilişsel mimariler geliştirmek amacıyla," "Dost yapay zekâyı" geliştirmek için Yapay Zekâ için Tekillik Enstitüsünü kurmuştur. Yapay Zekâ için Tekillik Enstitüsü, Dost Yapay Zekâ için İlkeleri geliştirmiştir: "Friendly AI," http://www.singinst.org/friendly/. Ben Goertzel ve Yapay Genel Zekâ Araştırma Enstitüsü de dost yapay zekâyı geliştirmeye yönelik incelemeler yapmıştır. Şu anda, bir dizi öğrenme algoritması ve mimarisi olan Novamente Yapay Zekâ Motorunun geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadır. Adaptive A.I., Inc. şirketinin kurucusu olan Peter Voss da dost yapay zekâ konularında ortak çalışmalar yapmıştır: http://adaptive ai.com/.

her adımın pazarda kabul görmesine bağlı olduğu açık bir serbest piyasa sistemi oluşturulmasının, teknolojinin yaygın insani değerleri bünyesinde toplayabilmesi için en yapıcı ortamı sağlayacağına inanıyorum. Belirttiğim gibi, güçlü yapay zekâ, çok çeşitli çabalardan ortaya çıkmaktadır, uygarlığımızın altyapısıyla da köklü biçimde bütünleşecektir. Beden ve beyinlerimize sıkı sıkıya yerleşecektir. Biz olacak, böylece de bizim değerlerimizi yansıtacaktır. Bu teknolojileri gizli hükümet programlarıyla denetleme girişimleri ile bu girişimlerle birlikte gelişen yeraltı uygulamaları ancak sonuçta tehlikeli uygulamaların büyük olasılıkla üstün geleceği, dengesiz bir ortamı besleyecektir.

Yerinden Yönetim. Epeyce yol alınan, daha iyi bir denge sağlayacak temel bir eğilim, merkezi teknolojilerden dağıtık teknolojilere ve yukarıda irdelenen gerçek dünyadan sanal dünyaya geçiştir. Merkezi teknolojiler, insanlar (örneğin kentler, yapılar), enerji (nükleer enerji santralleri, sıvı doğal gaz ve yakıt tankerleri, enerji boruları gibi), ulaşım (uçaklar, trenler) ve benzeri kaynakların bir araya toplanmasını gerektirir. Merkezi teknolojiler, aksaklıklara ve yıkımlara açıktır. Ayrıca, verimsiz, savurgan, çevreye zararlı olma eğilimindedirler.

Öte yanda dağıtık teknolojiler, esnek, verimli, çevreye etkilerinde görece iyi huylu olma eğilimindedirler. Dağıtık teknoloji türünün en güzel örneği internettir. İnternet bugüne kadar önemli bir aksaklık yaşamamıştır, gelişimini sürdürmektedir, sağlamlığı ve esnek direnci de giderek güçlenmektedir. Göbek ya da kanallardan biri işlemez olduğunda bilgi yalnızca bu göbek ya da kanalın çevresinden dolaşıp ilerler.

Dağıtık Enerji. Enerjide, bugün bağımlı olduğumuz, tek bir noktaya endeksli, fazlasıyla merkezileşmiş kurulumlardan uzaklaşmamız gerekir. Örneğin bir şirket, MEMS (Mikro Elektro Mekanik Sistemler) teknolojisini kullanarak, mikroskobik yakıt hücrelerinin öncülüğünü yapmaktadır.[46] Bunlar, elektronik çipler gibi üretilmekte, ancak geleneksel teknolojinin enerji–boyut oranının çok ilerisine geçen bir oranla enerji depolayabilen aygıtlardır. Daha

46 Integrated Fuel Cell Technologies, http://ifctech.com. Açıklama: Yazar, IFCT şirketinin ilk yatırımcılarından ve danışmanlarındandır.

önce irdelediğim gibi nano teknoloji yöntemleriyle üretilen güneş panelleri enerji gereksinimimizi yerinden yönetilen, yenilenebilir ve temiz yöntemlerle karşılayabilecektir. Bu doğrultudaki teknoloji sonuçta cep telefonlarımızdan arabalarımıza, evlerimize kadar her tür enerji gereksinimimizi karşılayabilir. Bu tür yerinden yönetilen enerji teknolojileri felaketlere ya da kesintilere açık olmayacaktır.

Bu teknolojiler geliştikçe insanları büyük yapılarda ve kentlerde bir araya toplama gereksinimimiz de ortadan kalkacak, insanlar geniş alanlara yayılabilecek, diledikleri yerde yaşayabilecek, sanal ortamlarda bir araya gelebileceklerdir.

Asimetrik Savaş Çağında Yurttaşlık Hakları. Terör saldırılarının doğası ve bu saldırıların ardındaki örgütlerin felsefeleri, yurttaşlık haklarının devletlerin meşru izleme ve denetim çıkarlarıyla nasıl ters düşebildiğinin altını çizmektedir. Yasa yürütme sistemimiz –gerçekten de güvenlik hakkındaki birçok görüşümüz– insanların, yaşamları ile esenliklerini koruma eğiliminde oldukları varsayımına dayanır. Bu mantık, yerel düzeyde korunmadan, dünya sahnesinde karşılıklı ve kontrollü yok edebilmeye kadar kullandığımız tüm stratejilerin temelinde yer alır. Ancak hem düşmanının hem de kendinin yıkımını isteyen türden bir düşmanlık, böyle bir mantığa yatkın değildir.

Kendi yaşamının sürdürülmesine değer vermeyen bir düşmanla baş etmenin getirdiği sonuçlar son derece sorunludur; sorunlar artmaya devam ettikçe de giderek kızışan çatışmalara neden olmuştur. Örneğin, FBI büyük olasılıkla bir terörist hücresi olan bir oluşumu saptadığında, bu hücrenin üyelerini bu kişileri mahkum etmek için yeterli suç kanıtı bulunmasa da, hatta henüz herhangi bir suç işlememiş olsalar da tutuklayacaktır. Hükümet, terörizme karşı giriştiğimiz savaşın kurallarına göre bu kişileri alıkoyacaktır.

New York Times gazetesi yayımladığı bir başyazıda, "kaygı veren önlem" olarak nitelediği bu politikaya karşı çıkmaktadır.[47] Gazete, henüz bir suç işlememiş oldukları için hükümetin tutuklanan bu kişileri salıvermesi, yalnızca suç işlemeleri durumunda tutuklaması gerektiğini ileri sürmektedir. Tabii o zaman geldiğin-

47 *New York Times*, 23 Eylül 2003, editörün sayfası.

de öldürdükleri onca kurbanla birlikte terörist zanlılarının kendileri de ölmüş olabilirler. Her birinin suç işlemesi için beklenirse, yetkililerin, intihar teröristlerinin çok geniş ve son derece dağıtık hücre ağını kırmaları nasıl mümkün olacaktır?

Öte yandan bu mantık, bizim için önemli olan yasayla korunma haklarımızın askıya alınmasına gerekçe gösterilerek zorba rejimler tarafından düzenli olarak kullanılmıştır. Aynı biçimde, yurttaşlık haklarının bu şekilde kısıtlanmasının, tam da bizim özgürlük ve çoğulculuk kavramlarımızdan nefret eden bu teröristlerin amacı olduğu haklı nedenlerle ileri sürülebilir. Ancak, hiçbir teknolojinin "sihirli kurşununun" bu ikilemi kökünden değiştirebileceğini düşünmüyorum.

Gizli şifreleme kapısı, meşru bireysel gizlilik gereksinimlerinin hükümetin izleme gereksinimiyle dengelenmesi çabası kapsamında hükümetin önerdiği teknik bir yenilik olarak düşünülebilir. Bu tip teknolojiyle birlikte, sahip olunan gücün kötüye kullanılmasının önüne geçebilmek için bu gizli kapıları kullanacak organın bunları kullanma biçiminin hem adli hem de yasal organlarca etkili biçimde gözetim altında tutulmasını sağlayacak siyasi yeniliklere de ihtiyacımız var. Muhaliflerimizin gizli kapaklı doğası ile kendilerininki dahil insan yaşamına saygısızlıkları, demokrasi geleneğimizin temellerini derinlemesine sınayacaktır.

GNR Savunması İçin Bir Program

> Aslında japonbalığı soyundan gelmemiz dönüp bütün japonbalıklarını öldürdüğümüz anlamına gelmez. Belki de [yapay zekâlar] bize haftada bir yemek verecektir... İnsanlarınkinden 10 üzeri 18 kat daha güçlü zekâya sahip bir makineniz olsa, ekonominizi yönetmesini ya da en azından denetlemesini istemez miydiniz?
>
> —Seth Shostak

Bir yandan GNR'nin sınırsız yararlarını sağlama alırken diğer yandan tehlikelerini nasıl iyileştirebiliriz? Aşağıda, GNR'nin taşıdığı risklerin sınırlanması için önerilen programı gözden geçirelim:

En acil öneri, *savunma teknolojilerine yaptığımız yatırımların büyük oranda artırılmasıdır.* Şu anda G çağında olduğumuza göre *bu yatırımın büyük bölümü (biyolojik) virüs önler ilaçlara ve sağaltım yöntemlerine ayrılmalıdır.* Buna çok uygun yeni araçlarımız vardır. Örneğin RNA engellemesi gen ekspresyonunu bloke etmek için kullanılabilir. Hemen hemen tüm enfeksiyonlar (ve kanser), yaşam döngülerinin bir aşamasında gerçekleşen gen ekspresyonuna bağlıdır.

N ile R'nin güvenli biçimde yönlendirilmesi için gereken savunma teknolojilerinin öngörülmesi çabalarının da desteklenmeli, sırasıyla moleküler üretimin ve güçlü yapay zekânın uygulanabilirliğine yaklaştıkça da bu çabalar büyük ölçüde artırılmalıdır. Bulaşıcı hastalıklar ve kansere karşı etkili sağaltım yöntemlerinin hızlandırılması da elde edilecek önemli bir yan avantaj olacaktır. Kongrede, insanlığın önünde fark edilmeden duran bu varoluşsal tehdide yönelik, yıllık on milyarlarca dolarlık (GSYİH'nin yüzde 1'inden az) yatırımı doğrulayacak bir savunma yaptım.[48]

- Genetik ve tıp teknolojilerinin düzenleyici süreçlerini daha verimli hale getirmeliyiz. Düzenlemeler teknolojinin kötü niyetli kullanımını engellememekte ama gereksinilen savunma araçlarını büyük ölçüde geciktirmektedir. Belirtildiği gibi, yeni teknolojinin risklerini (örneğin, yeni ilaçların), gecikmenin yarattığı bilinen zararlara karşı daha iyi dengelememiz gerekiyor.
- Bilinmeyen ya da gelişmekte olan biyolojik patojenleri küresel ölçekte izlemek amacıyla gizli, rastlantısal bir serum izleme programı oluşturulabilir. Bilinmeyen proteinler ya da nükleik asit dizilerinin varlığını kolayca belirleyecek tanı araçları var. İstihbarat, savunmanın en önemli unsurudur; böyle bir

48 ABD Temsilciler Meclisinin Bilim Komitesi, "nano teknolojinin ve T.M. 766, 2002 yılı Nano teknoloji Araştırma ve Geliştirme yasası HR 766'nın toplum üzerindeki etki ve sonuçlarını incelemek" amacıyla 9 Nisan 2003'te bir oturum düzenlemiştir. *Bkz.* "Full Science Committee Hearing on the Societal Implications of Nanotechnology," http://www.house.gov/science/hearings/full03/index.htm, ve "Hearing Transcript," http://commdocs.house.gov/committees/science/hsy86340.000/hsy 86340_0f.htm. Ray Kurzweil'ın tanıklığı için *ayrıca bkz.* http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0556.html. *Ayrıca bkz.* Amara D. Angelica, "Congressional Hearing Addresses Public Concerns About Nanotech," 14 Nisan 2003, http://www.KurzweilAI.net/articles/art0558.html.

program yaklaşmakta olan bir salgının erken uyarısı için paha biçilmezdir. Böyle bir "patojen gözcü" programı, halk sağlığı yetkilileri tarafından yıllardır önerilmekte; ancak buna hiçbir zaman yeterli kaynak ayrılmadı.

- 1975'te genetik alanında yapıldığı gibi, iyi tanımlanmış ve hedefe odaklı ertelemeler zaman zaman gerekli olabilir. Ancak nano teknolojide bu tür ertelemelere gerek duyulması olasılığı düşüktür. Ana teknolojilerden tümden vazgeçebilmek için yaygın çabalar ancak yeni çabaların yararlı yanlarını erteleyerek insanların çektikleri acıların sürdürülmesine hizmet etmekte, gerçekte yalnızca tehlikeleri büyütmektedir.
- Nano teknolojide güvenlik ve etik ilkelerin tanımlanması için gösterilen çabalar sürdürülmelidir. Moleküler üretime yaklaştıkça bu tür ilkeler kaçınılmaz olarak daha ayrıntılı ve hassas olacaktır.
- Yukarıda belirtilen çabalara mali kaynak sağlayacak siyasi desteği oluşturmak için kamuoyunda *bu tehlikeler konusunda farkındalık artırılmalıdır*. Ancak bunun, tehlikelere dikkat çekerek eksik bilgiyle yaygınlaşan antiteknoloji yaklaşımlarına destek olma gibi olumsuz bir yanı olabileceği için, tabii ki toplumun teknolojide süregelen ilerlemelerin kazandırdığı önemli yararları da anlamasını sağlamalıyız.
- Bu riskler uluslararası sınırların ötesine geçmektedir, bu da tabii ki yeni bir şey değildir; biyolojik virüsler, yazılım virüsleri ile füzeler zaten bu sınırları çekinmeden aşmaktadır. SARS virüsünün kontrol altına alınması için *uluslararası işbirliği* gerekiyordu, bu işbirliği de gelecekte karşımıza çıkacak sorunların çözümlenmesi için giderek daha önemli olacaktır. SARS'a verilen tepkinin koordine edilmesine destek olan Dünya Sağlık Örgütü gibi dünya çapında örgütler güçlendirilmelidir.
- Tartışmalı, güncel bir siyasi konu, kitle imha silahlarına erişimi olan teröristler ya da bu teröristleri destekleyen haydut devletler gibi tehditlerle savaşmak için gereken, erken ve önleyici eylemlere duyulan gereksinimdir. Bu tür önlemler her zaman tartışmalı olmakla birlikte bunlara duyulan potansiyel gereksinim açıktır. Nükleer bir patlama bir kenti yalnızca birkaç saniyede yok edebilir. Kendiliğinden kopyalanan bir pa-

tojen, ister biyolojik olsun ister nano teknoloji tabanlı olsun, birkaç gün ya da hafta içinde uygarlığımızı yok edebilecektir. Koruyucu önlemler almak için orduların oluşmasını ya da diğer türden kötü niyet belirtilerinin oluşmasını beklemeyi her zaman göze alamayız.

- İstihbarat örgütleri, denetim kurumları, tehlikeli olma potansiyeli taşıyan oluşumların büyük çoğunluğunun ortaya çıkmasının engellenmesinde yaşamsal rol oynayacaklardır. Bu kurumların bu tür çalışmalarında mümkün olan en güçlü teknolojileri kullanmaları gerekecektir. Örneğin, içinde bulunduğumuz on yıllık zaman dilimi bitmeden, keşif görevleri toz büyüklüğünde parçacıklar tarafından yürütülecektir. 2020'lere gelip beden ve beyinlerimizde yazılım çalıştırmaya başladığımızdaysa hükümet yetkilileri bu yazılım akışını belli durumlarda izlemenin yasal gereksinimini duyacaklardır. Bu tür güçlerin barındırdığı kötüye kullanım potansiyeli bellidir. Bir yandan gizlilik ve özgürlüğümüzü korurken, diğer yandan bu tür yıkıcı olayları engellemenin bir orta yolunu bulmamız gerekecektir.
- Yukarıda aktarılan yaklaşımlar, patalojik R'den (güçlü yapay zekâ) gelecek tehlikelerle baş etmekte yetersiz kalacaktır. Bu konudaki ana stratejimiz, geleceğin biyolojik olmayan zekâsının özgürlüğümüz, hoşgörümüz, bilgimiz ve farklılıklara olan saygımız üzerindeki olası yansımalarının iyileştirilmesi olmalıdır. Bunu yapmanın en iyi yolu, bugünden başlayarak toplumda bu tür değerlerin beslenmesidir. Bu belirsiz gibi görünebilir, öyledir. Ancak, bu alanda kullanılabilecek tümüyle teknik hiçbir strateji yoktur; çünkü daha büyük bir zekâ kendisinden düşük bir zekânın ürettiği önlemleri atlatmanın yolunu daima bulacaktır. Oluşturmakta olduğumuz biyolojik olmayan zekâ şu anda toplumumuzun yerleşik bir parçasıdır; gelecekte de böyle olacak, değerlerimizi yansıtacaktır. Biyoloji ötesi evre, biyolojik zekâyla derinlemesine birleşmiş biyolojik olmayan zekâyı kullanacaktır. Bu, yeteneklerimizi çok genişletecek, çok daha güçlü olacak zihin gücümüzü kullanma yöntemlerimiz ise yaratıcılarının değerlerine göre yönlendirilecektir. Biyoloji ötesi çağ sonuçta biyoloji sonrası çağa yol açacak olmakla bir-

likte umudumuz, değerlerimizin etkisini yitirmemesidir. Bu, kuşkusuz, dört dörtlük bir strateji değildir, ancak güçlü yapay zekânın gelecekte izleyeceği yolu etkileyebilmek için bugün elimizde olan temel araçtır.

Teknoloji iki tarafı keskin bir kılıç olmayı sürdürecektir. Sunduğu güç, insanlığın tüm amaçlarına hizmet edebilecek kadar büyük bir güçtür. GNR, hastalık, yoksulluk gibi çağlar boyu süregelen sorunların alt edilmesini mümkün kılacak araçları sağlayacak, ama yıkıcı ideolojileri de güçlendirecektir. İnsani değerlerimizin ne olması gerektiği konusunda net bir fikir birliğinden yoksun olsak da bu değerlerimizi geliştirmek için bu hızlandırıcı teknolojileri kullanırken bir yandan savunmamızı güçlendirmekten başka seçeneğimiz yoktur.

Molly 2004: *Peki, şu gizli senaryoyu bir kez daha anlatır mısın bana; hani şu kötü nanobotların saflarını tutmak için sessizce bütün biyokütleye yayıldıkları ama gerçekte yeryüzünün tamamına yayılmadan belirgin biçimde herhangi bir şeyi yok edecek kadar açılamadıkları senaryoyu.*

Ray: *Nanobotlar çok düşük yoğunluklarla, örneğin biyokütledeki her 10^{15} için bir karbon atomu yoğunlukla yayılacaklar. Böylelikle tohumlarını tüm biyokütleye ekebilecekler. Sonuçta, yıkıcı nanobotların fiziksel olarak yayılma hızları, yerlerinde kopyalanabildikleri zaman sınırlandırıcı bir etmen oluşturmayacaktır. Görünmeden hareket etme aşamasını atlatıp, böyle devinmek yerine tek bir noktadan yayıldıkları zaman, yayılan nano hastalık fark edilecek, tüm dünyaya yayılmaları görece yavaş olacaktır.*

Molly 2004: *Peki kendimizi bundan nasıl koruyacağız? İkinci aşamaya geçtikleri zaman büyük tehlikeyi önleyebilmek için doksan dakika ya da çok daha az süremiz olacak.*

Ray: *Üstel büyümenin doğası gereği zararın büyük bölümü son birkaç dakikada ortaya çıkar, ama söylemek istediğini anladım. Hangi senaryoya göre olursa olsun, elimizde bir nano teknoloji bağışıklık sistemi olmadan başarma şansımız olmayacaktır. Böyle bir sistemi oluşturmak için*

doksan dakikalık yıkım döngüsünün başlamasını tabii ki bekleyemeyiz. Böyle bir sistem insanın bağışıklık sistemine çok benzeyecektir. 2004 yılı dolaylarında, bağışıklık sistemi olmayan bir insan ne kadar yaşayabilir?

Molly 20004: *Pek uzun değil sanırım. Eğer bin trilyonda bir görülüyorlarsa nanobağışıklık sistemi bu kötü nanobotları nasıl bulup çıkaracak?*

Ray: *Aynı sorunu biyolojik bağışıklık sistemimizle de yaşıyoruz. Tek bir yabancı protein bile saptandığında, biyolojik antikor fabrikaları hemen harekete geçer, böylece bir patojen tehlikeli bir düzeye eriştiğinde bağışıklık sistemi etkisini gösterebilir. Nanobağışıklık sisteminin de benzer yeteneklere sahip olması gerekecektir.*

Charles Darwin: *Peki, bağışıklık sistemi nanobotlarının kopyalanma özelliği var mı?*

Ray: *Bunu başarabilmek için olması gerekir; kopyalanabilen patojen nanobotlara başka türlü ayak uyduramazlar. Biyokütleye belli bir yoğunlukta koruyucu bağışıklık sistemi nanobotlarının ekilmesi için öneriler ortaya atıldı, ancak kötü nanobotlar bu değişmez yoğunluğu belirgin biçimde aştıkları zaman bağışıklık sistemi yenilecektir. Robert Freitas, gerektiğinde ek koruyucu nanorobotlar yapabilen, kopyalanmayan nanofabrikalar önerir. Bence bu bir süre tehditlerle baş edebilecektir, ama ortaya çıkan tehditlere ayak uydurabilmek için bir yerden sonra savunma sisteminin bağışıklık kapasitesini artırması gerekecektir.*

Charles: *Yani, bağışıklık sistemi nanobotları tam olarak kötü niyetli nanobotların aşamalarına denk değil mi? Demek istediğim, biyokütleye tohum yaymak gizli eylem senaryosunun ilk evresini oluşturuyor.*

Ray: *Ama bağışıklık sisteminin nanobotları bizi korumaya programlanmışlardır, yok etmek için değil.*

Charles: *Anladığım kadarıyla yazılımın değiştirilmesi mümkün.*

Ray: *Kırılması demek istiyorsun?*

Charles: *Evet, aynen öyle. Öyleyse, eğer bağışıklık sisteminin yazılımı korsanlarca kırılıp değiştirilerek kendiliğinden kopyalanma yeteneği çalıştırılırsa—*

Ray: *—evet, bu konuda dikkatli olmamız gerekecek, değil mi?*

Molly 2004: *Ne demezsin!*

Ray: *Aynı sorunu biyolojik bağışıklık sistemimizde de yaşıyoruz. Bağışıklık sistemimiz oldukça güçlü, ancak bizim aleyhimize çalıştığında bu, bir otoimmün hastalığa yol açar, bu da sinsice gelişebilen bir şeydir. Ama yine de bağışıklık sisteminin alternatifi yoktur.*

Molly 2004: *Yani bir yazılım virüsü, nanobot bağışıklık sistemini gizli bir yok ediciye dönüştürebilir mi?*

Ray: *Bu mümkün. Yazılım güvenliğinin insan makine uygarlığı için birçok açıdan belirleyici unsur olacağını söylemek yanlış olmaz. Her şeyin bilgiden ibaret olmasıyla savunma teknolojilerimizin yazılım bütünlüğünün korunması bizim yaşamda kalmamızda kritik rol oynayacaktır. Bilgiyi oluşturan iş modelinin korunması ekonomik yönden de, esenliğimiz için önemli olacaktır.*

Molly 2004: *Bu kendimi çaresiz hissetmeme neden oluyor. Demek istediğim, iyi ve kötü nanobotlar arasında süregelen bu savaşta ben bir kenarda durup izleyen şanssız kişi olacağım.*

Ray: *Bu pek yeni bir olgu değil. 2004 yılında, dünyada konuşlanan on binlerce nükleer silah üzerinde ne kadar etkin var?*

Molly 2004: *En azından dış politika konularını etkileyen seçimlerde bir sesim ve oy hakkım var.*

Ray: *Bunun değişmesini gerektirecek bir neden yok. Güvenilir bir nano teknoloji bağışıklık sisteminin sağlanması 2020'lerin ve 2030'ların önemli siyasi konularından biri olacaktır.*

Molly 2004: *Peki ya güçlü yapay zekâ?*

Ray: *İyi haber, savunma teknolojilerimizi yıkıcı teknolojilerin ilerisinde tutmamıza yardım edecek kadar akıllı olacağı için bizi kötü niyetli nano teknolojiden koruyacağıdır.*

Ned Ludd: *Bizim tarafımızı tuttuğunu varsayarsak.*

Ray: *Aynen.*

Dokuzuncu Bölüm

ELEŞTİRİLERE YANITLAR

İnsan aklı tuhaf bir düşünceyi, bedenin yabancı bir proteini kabul edeceği kadar benimser, ona benzer bir enerjiyle karşı koyar.

—W. I. Beveridge

Eğer ... bir bilim adamı bir şeyin olanaklı olduğunu söylerse, hemen hemen kesinlikle haklıdır; ancak olanaksız olduğunu söylerse büyük olasılıkla yanılıyordur.

—Arthur C. Clarke

Eleştiriler Dizisi

The Age of Spiritual Machines'de açmaya başladığım bazı ivmelenen eğilimleri bu kitapta derinlemesine ele almaya çalıştım. *The Age of Spiritual Machines* birçok farklı tepki getirdi; ele aldığı temel, gerçekleşmek üzere olan değişiklikler üzerine kapsamlı tartışmalar başlattı (örneğin, önceki bölümde ele aldığım, Bill Joy'un *Wired* dergisindeki "Why the Future Doesn't Need Us" ["Gelecek Bizi Neden Gereksinmez"] başlıklı makalesiyle başlayan umutlara karşı tehlikeler tartışması gibi). Birçok açıdan da bu tür dönüşümlerin neden olmayacağı, olamayacağı ya da olmaması gerektiği de tartışıldı. Bu bölümde yanıtlayacağım eleştiriler özetle şunlar:

- "Malthus eleştirisi": *Üstel eğilimleri sonsuz olarak yansıtarak uygulamak hatadır; çünkü üstel büyümeyi korumak için*

gereken kaynaklar kaçınılmaz olarak tükenecektir. Üstelik elimizde olağanüstü yoğunluktaki bilgi işlem platformu tahminlerini çalıştıracak kadar enerji olmayacaktır; olsa bile güneş kadar sıcak olacaktır. Üstel eğilimlerin bir asimptota ulaştıkları doğrudur, ancak bilgi işlem ve iletişim için işlem başına ve bit başına gereken madde ve enerji kaynakları o kadar küçüktür ki bu eğilimlerin biyolojik olmayan zekânın biyolojik zekâdan trilyon kere trilyon kat daha güçlü olduğu noktaya devam ederek ilerlemesi mümkündür. Tersinir bilgi işlem, enerji gereksinimini olduğu gibi, açığa çıkan ısı oranını da birçok büyüklük kertesinde azaltabilir. Bilgi işlemin "soğuk" bilgisayarlarla kısıtlanması bile biyolojik zekâdan çok daha iyi çalışan biyolojik olmayan bilgi işlem platformlarının başarılmasını sağlayacaktır.

- "Yazılım eleştirisi": *Donanımda üstel olarak artan kazanımlar sağlıyoruz ama yazılım çamura batmış durumda.* Bilgi işlemde yazılımda ilerlemenin ikiye katlanma süresi donanımdakinden uzun olsa da yazılımın etkililiği, verimliliği ve karmaşıklığı da aynı zamanda artmakta. Arama motorlarından oyunlara kadar birçok yazılım uygulamasında daha on yıl önce araştırma aşamasında olan yapay zekâ teknikleri düzenli olarak kullanılıyor. Yazılım karmaşıklığı genelinde, yazılımın üretkenliğinde ve yazılımın temel algoritma problemlerinin çözme verimliliğinde de önemli kazanımlar sağlandı. Dahası, makinede insan zekâsının yeteneklerini elde edebilmek için etkili bir oyun planımız bulunuyor: Beynin çalışma ilkelerini anlamak için beyin üzerinde yapılacak ters mühendislik uygulaması, bunun ardından da bu ilkelerin beyin kapasitesine sahip bilgi işlem platformlarında uygulamaya konması. Beyinde ters mühendislik işlemleri her yönden ivme kazanmakta: Beyin taramasının uzaysal ve zamansal çözünürlüğünde, beynin çalışması hakkında her düzeyde bilgide ve nöronlar ile beyin bölgelerinin gerçekçi biçimde modellenip simüle edilmesi çabalarında.
- "Analog işlem eleştirisi": *Sayısal bitler ya açıktır ya da kapalı, bunun için sayısal bilgi işlem pek esnek değildir. Biyolojik zekâ daha çok analog olduğu için ince farklılıkları işlemek*

mümkündür. İnsan beyninin sayısal denetimli analog yöntemler kullandığı doğrudur, ancak böyle yöntemleri makinelerimizde de kullanabiliriz. Dahası, sayısal bilgi işlemin istenen hassasiyet derecesinde analog işlemleri simüle edebilmesi mümkünken, bunun aksi geçerli değildir.

- "Sinirsel işlemin karmaşıklığı eleştirisi": *Nöron bağlantılarında (aksonlar, dendritler, sinapslar) yer alan bilgi süreçleri, nöron ağlarında kullanılan basit yaklaşımlı modellerden çok daha karmaşıktır.* Doğrudur, ancak beyin bölgelerinin simülasyonları bu tür basit modelleri kullanmaz. Nöronlar ile nöron bağlantılarının bu biyolojik karşılıklarının doğrusalsızlıklarını ve karmaşıklığını yakalayan gerçekçi matematik modellere, bilgisayar simülasyonlarına ulaştık. Dahası, beyin bölgelerinin işlenme sürecinin karmaşıklığının çoğu zaman bu bölgeleri oluşturan nöronlardan daha basit olduğunu gördük. İnsan beyninin birkaç düzine bölgesi için etkili model ve simülasyonları zaten elde ettik. Artıklık da hesaba katıldığında, genomda sadece otuz ile yüz milyon bit arasında tasarım bilgisi yer alır. Yani, beynin tasarım bilgisi uygulanabilir bir düzeydedir.
- "Mikrotübüller ve kuantum bilgi işlem eleştirisi": *Nöronlardaki mikrotübüller kuantum bilgi işlem yürütme kapasitesine sahiptir. Bu tür kuantum bilgi işlem ise bilinç için önkoşuldur. Bir kişiliği "yüklemek" için bu kuantum durumunun tam olarak sağlanması gerekir.* Bu iki ifadeyi destekleyen hiçbir kanıt yoktur. Doğru olsalar bile kuantum bilgi işlemin biyolojik olmayan sistemlerde yürütülmesini engelleyecek hiçbir şey bulunmamaktadır. Kuantum etkilerini düzenli olarak yarıiletkenlerde kullanıyoruz (örneğin, transistörlerde tünelleme), makine tabanlı kuantum bilgi işlem de gelişiyor. Kuantum durumunun tam olarak elde edilmesine gelince, bu tümceyi yazmadan önce şu anda olduğumdan çok daha farklı bir kuantum durumundaydım. Yani daha şimdiden farklı bir kişi miyim? Belki öyleyim ama benim bir dakika önceki durumum saptanır, yükleme de bu bilgiye dayanarak yapılırsa, yüklenen bilgi yine de "Ray Kurzweil" Turing testini başarıyla geçecektir.
- "Church–Turing tezi eleştirisi": *Turing makinesi tarafından çözümlenemeyen birçok sorun sınıfları olduğunu gösterebili-*

riz. Ayrıca, Turing makinelerinin herhangi bir olası bilgisayarı taklit edebildiğini de (yani, herhangi bir bilgisayarın çözebildiği herhangi bir sorunu çözebilecek bir Turing makinesinin bulunduğunu) göstermek mümkündür; bu, bir bilgisayarın çözebildiği sorunların ne kadar kısıtlı olduğunu gösterir. İnsanlar bu sorunları çözme kapasitesine sahip oldukları için makineler insan zekâsını hiçbir zaman taklit edemeyeceklerdir. İnsanlar, evrensel olarak böylesine "çözülemez" sorunları çözme yeteneğine makinelerden daha fazla sahip değildir. Belli durumların çözümünde insanlar bilgiye dayalı tahminlerde bulunabilirler, ancak makineler de aynı şeyi, çoğunlukla da daha hızlı biçimde yapabilirler.

- "Başarısızlık oranları eleştirisi": *Karmaşıklık düzeyleri arttıkça, bilgisayar sistemlerinin başarısız olma oranları çok tehlikeli boyutlara ulaşmaktadır. Thomas Ray, "geleneksel yaklaşımlarla verimli biçimde tasarlayıp yapabileceğimizin sınırlarını zorlamakta" olduğumuzu yazar.* Çok çeşitli sistemlerin çalıştırılması için zorunlu olan işleri yürütmek üzere giderek daha karmaşık sistemler geliştirdik, bu sistemlerin başarısızlık oranı da çok düşük. Bununla birlikte, mükemmel olmamak, herhangi bir karmaşık sürecin doğal özelliğidir, insan zekâsı da kesinlikle bu süreçlerden biridir.
- "'Kilitlenme' eleştirisi": *Enerji ve ulaşım gibi alanların gerektirdiği yaygın, karmaşık destek sistemleri (ve bu sistemlere yapılan çok büyük yatırımlar) yenilikçi buluşların önünü kesmektedir, dolayısıyla bu durum Tekilliğin temelini oluşturacak teknolojiler için tasarımlanan hızlı değişimi engelleyecektir.* Yetenek ve fiyat performansı üstel olarak artan süreçler özellikle bilgi süreçleridir. Herhangi bir kilitlenme olgusu tarafından engellemeksizin (internet ve telekomünikasyon gibi alanlardaki büyük altyapı yatırımlarına karşın), bilgi teknolojilerinin her cephesinde hızlı paradigma değişimlerini zaten yaşadık. Enerji ve ulaşım sektörleri bile nano teknoloji tabanlı yeniliklerin getireceği devrimci değişiklikleri yaşayacaktır.
- "Ontoloji eleştirisi": *John Searle, Çin Odası analojisinin çeşitli biçimlerinden söz eder. Bunlardan birinde bir adam Çince bazı soruları yanıtlamak için yazılı bir program kullanmakta-*

dır. Adam, bu soruları Çincede başarılı biçimde yanıtlar gibi görünür ama yalnızca yazılı bir programı mekanik olarak uyguladığından aslında Çinceyi anlamamaktadır; yaptığı işlemin gerçek anlamda bilincinde değildir. Odadaki "adam" hiçbir şey anlamamaktadır çünkü Searle'e göre sonunda "yalnızca bir bilgisayardır." Yani, yalnızca kuralları uyguladıkları için bilgisayarların ne yaptıklarını anlayamadıkları açıktır. Searle'ün Çin Odası savları, yalnızca bilgisayarların tam bir kavrama kapasitesine sahip olmadıkları sonucu varsayıldığı için temelde totolojiktir. Searle'ün basit analojilerindeki felsefi kurnazlık kısmen bunların ölçekle ilgili olmalarına dayanır. Basit bir sistemi betimlediğini ileri sürüp, okurdan böyle bir sistemin gerçekte ne kadar kavrama yeteneği olabileceğini düşünmesini ister. Ancak tanımlamanın kendisi yanıltıcıdır. Searle'ün betimlediği Çin Odası sisteminin, yine Searle'ün kendisinin öne sürdüğü varsayımlarla tutarlı olabilmesi için insan beyni kadar karmaşık, dolayısıyla da insan beyni kadar kavrama kapasitesine sahip olması gerekecektir. Bu analojideki adam, merkezi işleme birimi görevini görecek, yani sistemin yalnızca küçük bir parçası olacaktır. Buradaki adam görmese de kavradıkları program örüntüsünün bütününe ve programı uygulayabilmek için alacağı milyarlarca nota dağılacaktır. Benim İngilizce anladığımı, ama hiçbir nöronumun bu dili anlamadığını varsayalım. Benim anladığım, nöro-ileticilerin gücü, sinaptik yarıkların ve hücrelerarası bağlantıların sonsuz örüntüsünde yer alacaktır.

- "Varsıl–yoksul ayrımı eleştirisi": *Büyük olasılıkla varsıllar bu teknolojiler sayesinde diğer insanların erişemeyecekleri belli fırsatları elde edeceklerdir.* Kuşkusuz bu yeni bir şey olmayacaktır; ama yine de fiyat performansının süregelen üstel büyümesi sayesinde tüm bu teknolojilerin kısa sürede ucuzlayacağını, neredeyse bedava olacağını belirtmeliyim.
- "Devlet düzenlemelerinin olabilirliği eleştirisi": *Yasal düzenlemeler teknolojinin ivmesini yavaşlatarak durduracaktır.* Yasaların engelleme potansiyeli önemli bir kaygı olsa da bu kitapta ele alınan eğilimler üzerinde bugüne kadar ölçümü yapılabilecek kadar büyük etkisi olmamıştır. Dünya çapında to-

taliter bir devlet yönetimi olmadan, teknolojik ilerlemenin temelinde yatan ekonomik ve diğer güçler yalnızca durmaksızın ilerleyecektir. Kök hücre araştırmaları gibi tartışmalı konular bile sonunda bir derenin içindeki taşlara dönüşecek, ilerlemenin akışı onları da kapıp götürecektir.

- "Tanrıcılık eleştirisi": *William A. Dembski'ye göre, "Ray Kurzweil ... gibi çağdaş maddeciler, maddenin devinimi ile geçirdiği değişimlerin insanın düşünce biçimini açıklamaya yeterli olduğunu düşünürler. Ancak maddecilik öngörülebilir, gerçek öngörülemez. Öngörülebilirlik, maddeciliğin temel erdemi[dir] ... boşluk ise başlıca kusuru[dur]."* Karmaşık madde ve enerji sistemleri öngörülemez; çünkü çok sayıda öngörülemeyen kuantum olaylara dayanırlar. Kuantum mekaniğinin "gizli değişkenler" yorumunu kabul etsek bile (bu yoruma göre kuantum olaylar yalnızca görünürde öngörülemez gibidir ama gerçekte saptanamayan gizli değişkenlere bağlıdır), karmaşık bir sistemin davranışı uygulamada yine öngörülemez olacaktır. Tüm eğilimler net olarak biyolojik sistemler kadar karmaşık olan, biyolojik olmayan sistemlere doğru gittiğimizi göstermektedir. Geleceğin bu tür sistemleri insanlardan daha "boş" olmayacak, birçok durumda da insan zekâsının ters mühendislik uygulamasına dayanacaktır. İnsan zekâsının yeteneklerini açıklamak için madde ve enerjinin yeteneklerinin ötesine geçmemize gerek yoktur.
- "Bütüncülük eleştirisi": *Michael Denton'un sözleriyle aktarırsak, organizmalar "kendiliğinden düzenlenirler, ... kendilerine işaret ederler, ... kendiliğinden kopyalanırlar, ... karşılıklıdırlar, ... kendiliğinden biçimlenirler ve ... bütüncüdürler." Bu tür organik biçimler yalnızca biyolojik süreçlerle oluşturulabilir, bu tür biçimler, "değişmezdir, ... içine girilemez... varoluşun temel gerçekleridir."*[1] Biyolojik tasarımın kapsamlı bir dizi ilkeye dayandığı doğrudur. Bununla birlikte, makineler de aynı ilkeleri kullanabilir, kullanmaktadırlar da; ayrıca, biyolojik ol-

1 Michael Denton, "Organism and Machine," Jay W. Richards vd, *Are We Spiritual Machines? Ray Kurzweil vs. the Critics of Strong A.I* içinde (Seattle: Discovery Institute Yayınları, 2002) , http://www.KurzweilAI.net/meme/frame.html?main=/articles/art0502.html.

mayan sistemlerin, biyolojik dünyada bulunan örüntülerin gelişmekte olan özelliklerinden yararlanmasını engelleyen hiçbir şey yoktur.

Çeşitli forumlarda bu karşıt görüşleri yanıtladığım sayısız tartışmaya katıldım, konuşmalar yaptım. Bu kitapla, aynı zamanda, karşılaştığım en önemli eleştirilere kapsamlı yanıtlar vermeyi amaçlıyorum. Uygulanabilirlik ve kaçınılmazlık çerçevesinde gelişen bu eleştirilere verdiğim yanıtların birçoğu bu kitapta irdelenmiş olmakla birlikte, bu bölümde oldukça ilginç birkaç eleştiriyi ayrıntılı olarak yanıtlamak istiyorum.

İnanmazlıktan Gelen Eleştiriler

Burada tasarımladığım gelecek hakkında en dürüst eleştiri belki de böylesine köklü değişimlerin gerçekleşme olasılığına duyulan inançsızlıktır. Örneğin kimyager Richard Smalley, nanobotların insanın dolaşım sisteminde işlem yürütebilmesi düşüncesini açıkça "aptalca" olarak niteleyip bir kenara atmaktadır. Bilim insanı etiği, yürütülen çalışmaların gelecekte gerçekleşme olasılıklarını değerlendirirken temkinli olmayı gerektirir; böyle bir sağduyu da ne yazık ki çoğu zaman, bilim insanını bilim ve teknolojinin çağ açıcı gücünü hesaba katmaktan alıkoyar. Paradigma değişiminin gerçekleşme hızının giderek artmasıyla birlikte, bu kökleşmiş kötümserlik toplumun onlarca yıl sonra gereksineceği bilimsel yeteneklerin değerlendirilmesine hizmet etmez. Günümüz teknolojisinin yüz yıl öncesinin insanına bile ne kadar inanılmaz geleceğini bir düşünün.

Buna ilişkin bir eleştiri, geleceğin öngörülmesinin güçlüğü düşüncesine dayanmaktadır; bu düşünceyi desteklemek için de geçmişte diğer fütüristler tarafından yapılmış kötü öngörülerden herhangi biri örnek gösterilebilir. Hangi şirketin ya da ürünün başarılı olacağını öngörmek olanaksız olmasa da gerçekten çok zordur. (Örneğin, kablosuz iletişim protokolleri WiMAX, CDMA ve 3G'nin önümüzdeki birkaç yıl içindeki performansları nasıl olacaktır?) Ancak bu kitapta kapsamlı olarak ele alındığı gibi, bilgi teknolojilerinin (fiyat performansı, bant genişliği ve diğer kapasite ölçümleriyle ölçülebilen) genel etkililiğini değerlendirirken olağanüstü derecede kesin ve öngörülebilir üstel eğilimlere ula-

şıyoruz. Örneğin, bilgi işlemin fiyat performansının düzenli üstel gelişimi yüz yıldan daha eskiye kadar gider. Bir bitlik bilginin işlenmesi ya da iletilmesi için gereken minimum madde ve enerji miktarının yok denecek kadar az olduğu dikkate alındığında, bilgi teknolojilerindeki bu eğilimlerin en azından önümüzdeki yüzyıla kadar süreceğini güvenle öngörebiliriz. Dahası, bu teknolojilerin zaman içinde gelecek yeteneklerini de güvenle tahmin edebiliriz.

Tek bir gaz molekülünün izleyeceği yolu öngörmenin temelde olanaksız olduğunu düşünün, ancak termodinamik yasalarını kullanarak gazın (kaotik etkileşim içindeki birçok molekülden oluşan) bütününün belli özelliklerini doğru olarak öngörmek mümkündür. Benzer biçimde, belirli bir projenin ya da şirketin çıktılarını doğru olarak öngörmek mümkün değildir ama bilgi teknolojilerinin (birçok kaotik etkinlikten oluşan) yeteneklerinin toplamını, ivmelenen getiriler yasası sayesinde güvenilir olarak tahmin etmek mümkündür.

Makinelerin –biyolojik olmayan sistemlerin– neden asla insanlara kıyaslanamayacağını savunan öfkeli çabalar temelde bu inanmazlık tepkisiyle ateşleniyor gibi görünmektedir. İnsan düşüncesi tarihi, türümüzün özel olduğu düşüncesinin kabullenilmesine karşı tehdit oluşturduğuna inanılan görüşlerin reddedilmesi çabalarının örnekleriyle doludur. Kopernik'in, dünyanın evrenin merkezinde yer almadığı düşüncesi, Darwin'in diğer primatlardan ancak biraz daha gelişmiş olduğumuz düşüncesinin gördüğüne benzer bir dirençle karşılaşmıştı. Makinelerin insan zekâsına erişebileceği, hatta onu geçebileceği düşüncesi de yine insanın konumunu zora sokar gibi görünmektedir.

Bence, her şeye karşın, insanların çok temel bir özelliği vardır. Yeryüzünün, bilişsel işlev ile yararlı bir uzvu (başparmak) birleştirmeyi başarmış ilk türüyüz, bu sayede de ufkumuzu genişletecek teknolojiyi yaratmayı başardık. Yeryüzünde başka hiçbir tür bunu başaramamıştır. (Tam olarak söylemek gerekirse, bu ekolojik bölgede yaşamını sürdürebilmiş tek türüz; diğerleri, Neandertaller gibi diğer türler, yaşamda kalmayı başaramamışlardır.) Altıncı bölümde irdelediğim gibi henüz evrende benzer bir uygarlık keşfetmedik.

Malthus Eleştirisi

Üstel Eğilimler Sonsuza Kadar Sürmez. Üstel eğilimlerin duvara toslayacağının betimlenmesinde kullanılan klasik örnek, "Avustralya'daki tavşanlar" eğretilemesidir. Elverişli yeni bir doğal ortam bulan bir tür, üstel olarak çoğalarak, o ortamın bu türü besleyebilme kapasitesinin sınırına gelene kadar sayısını artıracaktır. Üstel büyümenin bu sınırına erişmesi toplam sayının düşmesine bile neden olabilecektir; örneğin, zararlı bir böcek türünün yayıldığını gören insanların bu türü yok etmeye çalışması gibi. Yaygın kullanılan diğer bir örnek de bir hayvanın bedenindeki sınırına erişinceye kadar üstel olarak çoğalabilen mikroptur: Bedenin bu mikrobu yaşatma kapasitesi, bağışıklık sisteminin tepkisi ya da konakçının ölümüyle sınırlıdır.

İnsan nüfusu bile artık bir sınıra yaklaşmaktadır. Daha gelişmiş ülkelerde aileler doğum kontrol yöntemlerini benimsemiş, çocuklarına sağlamak istedikleri kaynaklar için görece yüksek standartlar belirlemişlerdir. Sonucunda da gelişmiş dünyada nüfus artışı büyük oranda durmuştur. Bu arada bazı (ama hepsinde değil) az gelişmiş ülkelerde insanlar, çocuklarının en az birinin, yaşlılıklarında kendilerine bakacak kadar uzun yaşayacağı umuduyla, bir sosyal güvence olarak büyük aileler oluşturmayı sürdürmüşlerdir. Yine de ivmelenen getiriler yasasının giderek daha yaygın ekonomik kazançlar sağlamasıyla birlikte genel olarak insan nüfusundaki artış yavaşlamaktadır.

Öyleyse bilgi teknolojilerinde tanık olduğumuz üstel eğilimlerin buna benzer bir sınırı var mıdır?

Yanıt, evettir; ancak bu sınır, bu kitapta açıklanan köklü dönüşümler gerçekleşmeden oluşmayacaktır. Üçüncü bölümde irdelediğim gibi, bir bitin işlenmesi ya da iletilmesi için gereken madde ve enerji miktarı yok denecek kadar azdır. Tersinir mantık geçitleri kullanıldığında, enerji girdisi yalnızca sonuçların iletimi ve hataların düzeltilmesi için gerekecektir. Aksi durumda her işlemden salınan ısı hemen sonraki işlemde kullanılacak yakıta dönüştürülecektir.

Beşinci bölümde ele aldığım gibi, hemen hemen tüm uygulamaların nano teknoloji tabanlı tasarımları –bilgi işlem, iletişim, üretim ve ulaşım– bugün olduğundan çok daha az enerji kullanı-

mını gerektirecektir. Nano teknoloji ayrıca güneş ışığı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının elde edilmesini de kolaylaştıracaktır. Yeryüzüne gelen güneş enerjisinin yalnızca yüzde 0,03'ünü (on binde üç) yakalarsak, 2030 yılında gereksineceğimizi öngördüğümüz otuz trilyon vat enerjinin tamamını karşılayabiliriz. Bu, nano teknoloji ürünü olan son derece ucuz, hafif, verimli güneş panelleri ve yakalanan enerjinin saklanıp dağıtılmasında kullanılacak nanoyakıt hücreleriyle başarılabilecektir.

Sınırsız Denebilecek Bir Sınır. Üçüncü bölümde irdelediğim gibi, en uygun şekilde düzenlenmiş, yaklaşık 1 kilogram ağırlığında ve tersinir mantık geçitleri kullanan bir bilgisayarda 10^{25} atom bulunur ve bu bilgisayar 10^{27} bit saklayabilir. Yalnızca parçacıklar arasındaki elektromanyetik etkileşimi dikkate alırsak, her bit için saniyede en az 10^{15} durumsal değişiklik bilgi işlem için kullanılabilecektir, bu da 1 kilogramlık son "soğuk" bilgisayarda, saniyede 10^{42} işlem demektir. Bu, bugün var olan tüm biyolojik beyinlerden 10^{16} kat daha güçlüdür. Son bilgisayarımızın ısınmasına izin verirsek, bu değeri 10^{8} kat daha artırabiliriz. Elbette bilgi işlem kaynaklarımızı bir kilogram madde ve enerjiyle kısıtlamayacak, eninde sonunda dünyada ve güneş sistemindeki madde ve enerjinin önemli bir bölümünü kullanıp, buradan yayılacağız.

Belirli paradigmalar sınıra ulaşır. Moore Yasasının (düz tümleşik bir devre üzerindeki transistörlerin küçülme boyutuna ilişkin yasa) önümüzdeki yirmi yıl içinde sınırına ulaşması beklenmektedir. Moore Yasasının ömrünü tamamlama tarihi sürekli ileriye atılmaktadır. İlk tahminler 2002 yılını öngörmüşken, bugün Intel bunun 2022'den önce olmayacağını söylemektedir. Ancak ikinci bölümde irdelediğim gibi, ne zaman bir bilgi işlem paradigmasının sınırına yaklaştığı görülse, araştırma üzerindeki ilgi ve baskılar artmış bu da bir sonraki paradigmayı yaratmıştır. Bu, bilgi işlemin başlangıçtan bugüne yüz yıllık üstel büyüme tarihinde dört kez yaşandı (elektromanyetik hesap makinelerinden röle tabanlı bilgisayarlara, vakum tüplerine, ayrık transistörlere, tümleşik devrelere kadar). Moleküler düzeydeki üç boyutlu kendiliğinden düzenlenen devrelere, yani bundan sonra gelecek (altıncı) bilgi işlem paradigmasına giden yolda çok önemli eşikleri çoktan geç-

tik. Yani, bir paradigmanın yaklaşan sonu gerçek bir sınırı temsil etmez.

Bilgi teknolojilerinin gücünün sınırları vardır, ancak bu sınırlar çok geniştir. Güneş sistemimizdeki madde ve enerjinin bilgi işlem destekleme kapasitesini en az 10^{70} cps olarak hesaplamıştım (*bkz.* altıncı bölüm). Evrende en az 10^{20} yıldız olduğuna göre 10^{90} cps elde ederiz, bu da Seth Lloyd'un bağımsız çözümlemesiyle çelişmez. Yani, evet, sınırlar vardır, ama bunlar pek sınırlayıcı değillerdir.

Yazılım Eleştirisi

Güçlü yapay zekânın, dolayısıyla Tekilliğin olabilirliğinin sorgulanmasında genellikle ilk önce niteliksel ve niceliksel eğilimler arasında ayrım yapılır. Bu düşünce, özünde, bellek kapasitesi, işlemci hızı ve iletişim bant genişliği gibi belli kaba kuvvet yeteneklerinin üstel olarak büyüdüğünü, ancak yazılımın (yani yöntemler ve algoritmaların) üstel olarak büyümediğini kabul eder.

Bu, donanım ile yazılımı karşı karşıya getiren önemli bir iddiadır. Örneğin, sanal gerçekliğin öncülerinden Jaron Lanier, benim ve sibernetik bütüncü olarak nitelenen diğer kişilerin konumunu, yazılımı belirsiz bir yöntemle çözmeyi başarıvereceğimizi söyleyerek, yazılımın "gökten zembille ineceği" bir konumla tanımlamaktadır.[2] Ancak bu, tanımladığım, zekâ yazılımının başarılmasını sağlayacak belirli ve ayrıntılı senaryoyu göz ardı etmektedir. Lanier'le daha birçok gözlemcinin kavradıklarından çok daha fazla yol almış olan, insan beyni üzerindeki ters mühendislik uygulamaları, insan zekâsını oluşturan kendiliğinden düzenlenme yöntemlerini de geliştirecek biçimde yapay zekâ araç kutumuzu genişletecektir. Bu konuya birazdan geri geleceğim, ama önce yazılımdaki sözde ilerleme eksikliği hakkındaki diğer bazı temel yanlış anlamaları ele alalım.

Yazılımın Tutarlılığı. Lanier, yazılımı doğası gereği "hantal" ve "kolay bozulan" olarak niteleyerek, yazılım kullanırken yaşadığı çeşitli sinir bozukluklarını uzun uzun betimler. "Bilgisayarların

2 Jaron Lanier, "One Half of a Manifesto," *Edge* (25 Eylül 2000), http://www.edge.org/documents/archive/edge74.htınl.

özellikle karmaşık bazı işleri güvenilir ama düzeltilebilir biçimde, çakılmadan ya da güvenlik ihlalleri olmadan yapmalarını sağlamak aslında olanaksızdır," diye yazar.[3] Bütün yazılımları savunmak niyetinde değilim, ancak karmaşık yazılımların mutlaka kolay bozulabilen ve yıkıcı arızalara açık olduğu doğru değildir. Belli bir işin yürütülmesi için gerekli birçok karmaşık yazılım, herhangi bir arıza yapsa bile bunlar oldukça enderdir: Örneğin, giderek daha fazla sayıda uçağın inişinin kontrol edilmesinde, yoğun bakım ünitelerinde hastaların gözlem altında tutulmasında, akıllı silahların yönlendirilmesinde, örüntü tanıma temelinde çalışan otomatik koruma fonlarındaki milyarlarca doların denetlenmesinde ve daha birçok işin yürütülmesinde kullanılan gelişmiş yazılım programları.[4] Otomatik iniş yazılımındaki arıza nedeniyle gerçekleşen bir uçak kazası bilmiyorum; ancak aynı şeyi insanın güvenilirliği için söylemek mümkün değildir.

Yazılımın Duyarlığı. Lanier, "Bilgisayar kullanıcı arabirimleri, bir tuşa basmak gibi kullanıcı arabirimi olaylarına on beş yıl öncesine göre bugün çok daha yavaş tepki verme eğilimindedir... Hata nerede?" diye yakınmaktadır.[5] Lanier'i bugün eski bir bilgisayarı kullanmaya çağırmak isterim. Böyle bir bilgisayarın kurulumunu yaparken yaşanan zorluklar bir yana (bu ayrı bir konudur), o bilgisayarların ne kadar duyarsız, hantal ve kısıtlı olduğunu unutmuş. Yirmi yaşındaki kişisel bir bilgisayarın yazılımıyla bugünün standartlarında bir işi başarmayı bir deneyin. Eski yazılım programlarının niceliksel ya da niteliksel herhangi bir bakımdan daha iyi olduğunu söylemek tek kelimeyle yanlıştır.

Kötü tasarımlarla karşılaşmak her zaman mümkünse de yanıtlardaki gecikmeler, eğer böyle bir durum oluşursa, çoğu zaman yeni özellik ve işlevler sonucu oluşmaktadır. Kullanıcılar yazılımlarının işlevselliğini dondurmaya razı olurlarsa, bilgi işlem hızının ve belleğinin süregelen üstel büyümesi, yazılımlardaki tepki gecikmelerini çabucak ortadan kaldırabilecektir. Ancak piyasa giderek gelişen kapasiteler talep etmektedir. Bundan yirmi yıl önce

---

3 *Age.*
4 Modern altyapımıza bugün artık köklü biçimde yerleşmiş olan dar yapay zekânın örnekleri için *bkz.* beşinci ve altıncı bölümler.
5 Lanier, "One Half of a Manifesto."

arama motorları ya da Dünya Çapında Ağ ile (aslında ortada ağ bile yoktu) farklı bir tümleşiklik yoktu, yalnızca ilkel bir dil, biçimlendirme ve çokluortam araçları vb vardı. Yani işlevsellik daima, uygulanabilir olanın kıyısında durmaktadır.

Yıllar ya da on yıllar öncesinin yazılımına duyulan bu aşk, insanların, makinelerle çalışmanın sinir bozukluğu yaratmadığı yüzlerce yıl öncesinin dünyasını idealleştirmesine benzer. Yaşam daha serbestti ama daha kısaydı, çalışma koşulları ağırdı, yoksulluk doluydu, hastalık ve felaketlere açıktı.

Yazılımın Fiyat Performansı. Yazılımın fiyat performansı kıyaslandığında her alanda çarpıcı sonuçlar görülür. S. 82'de konuşma tanıma yazılımı için verilen tabloyu gözünüzün önüne getirin. 1985'te, beş bin dolarla ancak bin sözcüğü tanıyabilen, sürekli konuşma kapasitesi bulunmayan, sesinizi tanıması için üç saatlik bir çalışma gerektiren ve görece düşük doğrulukla çalışan bir yazılım paketi satın alınabilirdi. 2000'de ise yalnızca elli dolara yüz bin sözcük tanıyan, sürekli konuşma kapasitesi olan, sesinizi tanıması için yalnızca beş dakikalık bir eğitim gerektiren, doğruluk derecesi çarpıcı ölçüde yükselmiş, doğal dili (düzeltme komutları ve benzeri amaçlar için) tanıyabilen ve daha birçok özelliğe sahip bir yazılım paketi satın alınabiliyordu.[6]

Yazılım Geliştirme Üretkenliği. Peki ya yazılım geliştirmenin kendisi? Kırk yıldır yazılım geliştirdiğim için bu konuda bir görüşüm var. Yazılım geliştirme üretkenliğinin ikiye katlanma süresini yaklaşık altı yıl olarak hesaplıyorum; bu süre, bugün yaklaşık bir yıl olan işlemci fiyat performansının ikiye katlanma süresinden yavaştır. Bununla birlikte yazılım üretkenliği yine de üstel olarak büyümektedir. Bugün var olan geliştirme araçları, sınıf kitaplıkları, destek sistemleri, bundan on yıllarca öncekilere göre çok daha etkili. Yirmi beş yıl önce bir düzine ya da daha fazla kişiden oluşan ekiplerin bir yıl ya da daha uzun sürelerle çalışmasını gerektiren hedeflere, şu an birlikte çalıştığım, her biri yalnızca üç ya da dört kişiden oluşan proje ekipleri yalnızca birkaç ay içinde ulaşabiliyorlar.

---

6 İlk olarak Kurzweil Applied Intelligence tarafından geliştirilmiş olan Kurzweil Voice buna bir örnektir.

Yazılımın Karmaşıklığı. Yirmi yıl öncesinin yazılım programları normal olarak bin ile yirmi, otuz bin arası satırdan oluşuyordu. Bugün yaygın kullanılan programlar (örneğin, tedarik zinciri kontrolü, fabrika otomasyonu, rezervasyon sistemleri, biyokimyasal simülasyonlar) milyonlarca ya da daha fazla sayıda satırla ölçülmekte. Joint Strike Fighter gibi büyük savunma sistemlerinin yazılımı on milyonlarca satır içermektedir.

Yazılımı denetleyen yazılımın karmaşıklığı da hızla artmaktadır. IBM, bilgi teknolojilerinin düzenli ve sık kullanılan destek işlevlerinin otomatikleştirildiği otonom bilgi işlem kavramının öncülüğünü yapmaktadır.[7] Bu sistemler, kendi davranışlarının modelleriyle programlanacak ve IBM'e göre "kendiliğinden yapılanma, kendiliğinden iyileşme, kendiliğinden optimizasyon, kendiliğinden korunma" yeteneklerine sahip olacaklardır. Otonom bilgi işlemi desteleyecek yazılım, on milyonlarca kod satırıyla (her satırda onlarca bitlik bilgi yer almak üzere) ölçülecektir. Böylelikle, bilginin karmaşıklığı bakımından yazılım zaten insan genomunda ve onu destekleyen moleküllerde yer alan on milyonlarca bit kullanılabilir bilgiyi aşmıştır.

Ancak, bir programda yer alan bilgi miktarı en iyi karmaşıklık ölçümü değildir. Bir yazılım programı uzun ancak gereksiz bilgilerle şişirilmiş de olabilir. Tabii aynı şey son derece verimsiz kodlanmış gibi görünen genom için de söylenebilir. Yazılımın karmaşıklığını formüle edebilmek için çalışmalar yapılmıştır; örneğin, bilgisayar mühendisleri Arthur Watson ile Thomas McCabe tarafından ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsünde geliştirilen Siklomatik Karmaşıklık Ölçüm Sistemi.[8] Bu ölçüm sistemi, bir programın mantığının karmaşıklık derecesini ölçerek, dallara ayrılmanın ve karar noktalarının yapısını değerlendirmektedir. İkiye katlanma sürelerini izlemek için yeterli veri bulunmasa da gösterilen kanıtlar bu endekslerle ölçüldüğünde hızla yükselen

7 Alan G. Ganek, "The Dawning of the Autonomic Computing Era," *IBM Systems Journal* (Mart 2003), http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0ISJ/is_1_42/ai_98695283/print.

8 Arthur H.Watson ve Thomas J. McCabe, "Structured Testing: A Testing Methodology Using the Cyclomatic Complexity Metric," NIST özel yayını 500-35, Bilgisayar Sistemleri Laboratuvarı, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, 1996.

karmaşıklığı göstermektedir. Ancak en önemli nokta, bugün endüstride kullanılan en karmaşık yazılım sistemlerinin, beyin bölgelerinin nöromorfik simülasyonlarını, ayrıca tek tek nöronların biyokimyasal simülasyonlarını gerçekleştiren yazılım programlarından daha yüksek karmaşıklık düzeylerine sahip olmasıdır. İnsan beyninde keşfetmekte olduğumuz paralel, kendiliğinden düzenlenen, fraktal algoritmaların modellenmesi ve simülasyonu için gereksinileni aşan düzeylerde yazılım karmaşıklığını daha şimdiden yönetebiliyoruz.

İvmelenen Algoritmalar. Yazılım algoritmalarının (sabit donanım üzerindeki) hızı ile verimliliğinde çarpıcı iyileşmeler elde edildi. Böylece, sinyal işleme, örüntü tanıma, yapay zekâ gibi programların temelini oluşturan temel matematik fonksiyonlarının çözümü için çok çeşitli yöntemlerin uygulanmasındaki fiyat performansı, hem yazılımın hem de donanımın ivmesinden yararlandı. Bu iyileşmeler soruna göre değişmekle birlikte etkisi yayılmaktadır.

Örneğin, insan beyni için olduğu kadar bilgisayarlar için de yaygın ve yoğun bilgi işlem gerektiren sinyal işlemeyi ele alın. Georgia Teknoloji Enstitüsünden Mark A. Richards ile Massachusetts Teknoloji Enstitüsünden Gary A. Shaw, sinyal işleme algoritmalarının daha fazla verimliliğine doğru giden büyük bir yönelimi belgelediler.[9] Örneğin, sinyallerde örüntüleri belirlemek için çoğu zaman kısmi diferansiyel denklemleri çözmek gerekir. Algoritma uzmanı Jon Bentley, bu problem tipinin çözümü için gereken bilgi işlem sayısında sürekli azalma olduğunu gösterdi.[10] Örneğin, 1945'ten 1985'e kadar, örnek oluşturabilecek bir uygulamada (her bir yanında altmış dörder eleman bulunan üç boyutlu bir grid için oval parçalı diferansiyel çözüm bulunması) işlem sayısı üç yüz bin kat küçültültü. Bu, yılda yüzde 38 oranında (donanımdaki iyileşmeleri katmadan) verimlilik artışı demektir.

Diğer bir örnek de yıllık yüzde 55'lik bir artışla, on iki yılda saniyede 300 bitten saniyede 56.000 bite çıkmış olan, koşullanma-

---

9 Mark A. Richards ve Gary A. Shaw, "Chips, Architectures and Algorithms: Reflections on the Exponential Growth of Digital Signal Processing Capability," *IEEE Signal Processing*'e sunulmuştur, Aralık 2004.

10 Jon Bentley, "Programming Pearls," *Communications of the ACM* 27.11 (Kasım 1984): 1087–1092.

mış telefon hatları üzerinden bilgi iletim yeteneğidir.[11] Bu iyileşmenin bir bölümü donanım tasarımında elde edilen iyileşmelerin sonucu olmakla birlikte, büyük bölümü algoritmik yeniliklerle elde edilen işlevlerin sonucudur.

Başlıca işleme sorunlarından biri, sinyalleri sinüs dalgalarının toplamı olarak ifade eden Fourier dönüşümleri kullanılarak, bir sinyalin frekans bileşenlerine dönüştürülmesidir. Bu yöntem, bilgisayarlı konuşma tanımanın ve birçok başka uygulamanın ön ucunda kullanılmaktadır. İnsanın işitsel algısı da konuşma sinyallerinin, salyangozda frekans bileşenlerine ayrıştırılmasıyla başlar. "Hızlı Fourier dönüşümü" için 1965'te geliştirilen "radix–2 Cooley–Tukey algoritması," 1024 noktalık Fourier dönüşümü için gereken işlem sayısını iki yüz kat azaltmıştır.[12] Daha da geliştirilmiş "radix–4" yöntemi, bu iyileşmeyi sekiz yüz kata çıkardı. Kısa süre önce rastgele seçilmiş sinyalleri sinüs dalgalarından daha karmaşık dalga biçimlerinde ifade edebilen "dalgacık" dönüşümler ortaya kondu. Bu yöntemler, bir sinyalin ana bileşenlerine ayrılmasının verimliliğinde daha çarpıcı artışlar sağlamaktadır.

Yukarıdaki örnekler anomali değildir; bilgi işlem bakımından yoğun birçok "çekirdek" algoritmanın gerektirdiği işlem sayısında önemli düşüşler gerçekleşmektedir. Diğer örnekler sıralama, arama, otomatik ilişkilendirme (ve diğer istatistiksel yöntemler) ile bilgi sıkıştırma ve sıkıştırılmış kodun açılmasını kapsamaktadır. Algoritmaların paralelleşmesinde –yani, tek bir yöntemin eşzamanlı olarak yürütülebilen birkaç yönteme bölünmesinde– ilerleme kaydedildi. Daha önce irdelediğim gibi, paralel işleme doğal olarak daha düşük ısıda çalışır. Beyin, daha karmaşık işlevleri ve daha hızlı yanıt sürelerini gerçekleştirmenin bir yöntemi olarak yoğun paralel işlem kullanır; optimal bilgi işlem yoğunluklarını elde edebilmek için bizim de bu yaklaşımı makinelerimizde kullanmamız gerekir.

Donanımın fiyat performansındaki iyileşmelerle yazılım verimliliğindeki iyileşmeler arasında doğal bir fark vardır. Donanımdaki iyileşmeler olağanüstü derecede tutarlı ve öngörülebilen

11 C. Eldering, M. L. Sylla ve J. A. Eisenach, "Is There a Moore's Law for Bandwidth," *IEEE Communications* (Ekim 1999): 117–121.

12 J. W. Cooley ve J. W. Tukey, "An Algorithm for the Machine Computation of Complex Fourier Series," *Mathematics of Computation* 19 (Nisan 1965): 297–301.

gelişmeler olmuştur. Donanımda yeni elde edilen hız ve verimlilik düzeylerinin kullanımında ustalaştıkça, ondan sonraki üstel iyileşmeyi sürdürmemizi sağlayacak güçlü araçlar kazanıyoruz. Diğer yandan, yazılımdaki iyileşmeler daha az öngörülebilirdir. Richards ve Shaw bunları "geliştirme süresindeki solucan delikleri" olarak adlandırırlar; çünkü donanımda ortaya çıkması yıllar sürebilecek bir gelişmeyi çoğu zaman tek bir algoritmik iyileştirmeyle başarabiliyoruz. Donanımda elde edilen kesintisiz ivmeye güvenebileceğimiz için yazılımın verimliliğinde sürekli ilerlemeye bağlı olmadığımıza dikkat edin. Yine de önemli algoritmik gelişmelerin getirdiği yararlar, insan zekâsını taklit edecek toplam bilgi işlem gücünün elde edilmesine büyük katkılarda bulunmaktadır; bulunmaya da devam edecektir.

Akıllı Algoritmaların Sonul Kaynağı. Burada en önemli nokta, insan düzeyinde zekâya bir makinede ulaşmak için belirli bir oyun planının bulunmasıdır: İnsan beyninde kullanılan paralel, kaotik, kendiliğinden düzenlenen ve fraktal yöntemlerin ters mühendislik işlemiyle yürütülüp, bu yöntemlerin modern bilgi işleme donanımına uygulanması. İnsan beyni ile kullandığı yöntemler hakkında üstel olarak artan bilgimizin izini sürmüş olduğumuz (*bkz.* dördüncü bölüm) bu noktada, tümüne insan beyni dediğimiz yüzlerce bilgi işleme organının ayrıntılı model ve simülasyonlarını yirmi yıl içinde elde etmemiz beklenebilir.

İnsan zekâsının çalışmasının ilkelerinin anlaşılması, yapay zekâ algoritmaları araç kutumuza katkıda bulunacaktır. Makine örüntü tanıma sistemlerimizde ayrıntılı olarak kullanılmakta olan bu yöntemlerin birçoğu, tasarımcının öngöremediği incelikli ve karmaşık davranışlar gösterir. Kendiliğinden düzenlenme yöntemleri, karmaşık ve zeki davranışın oluşturulmasına giden kolay bir kısa yol değil, net biçimde programlanmış mantık sistemlerinde kırılganlığa yol açmadan sistemin karmaşıklığını artırmanın önemli bir yoludur.

Daha önce irdelediğim gibi insan beyni yalnızca otuz ile yüz milyon arası bitlik yararlı, sıkıştırılmış bilgi içeren bir genomdan yaratılmıştır. O halde, yüz trilyon bağlantısı olan bir organın bu kadar küçük bir genomun sonucu olması nasıl mümkündür? (Yalnız-

ca insan beynini tanımlamak için gereksinilen bağlantı verilerinin, genomda yer alan bilgiden bir milyon kat daha fazla olduğunu tahmin ediyorum.)[13] Yanıt, genomun temsil edilen bilgiyi artırmak için her biri kaotik yöntemler kullanan (yani, önce rastlantısallık, ardından kendiliğinden düzenlenme) birtakım süreçleri özelleştiriyor olmasıdır. Örneğin, bağlantıların rastlantısallık oranı çok yüksek bir planı izlediği bilinmektedir. Birey çevresinde olan bitenle karşılaştıkça, bağlantılar, nöro-iletici düzeyindeki örüntüler dünyayı daha iyi betimleyebilmek için kendiliğinden birleşirler, ancak ilk tasarım çok karmaşık olmayan bir program tarafından belirlenir.

İnsan zekâsının çok kapsamlı kurallara dayanan uzmanlaşmış bir sistemde her bağlantı üzerinde tek tek çalışarak programlanacağı fikrini savunmuyorum. İnsan zekâsının gösterdiği çok çeşitli becerilerin kapsamlı bir genetik algoritmayla ortaya çıkıvermesini de beklemiyoruz. Lanier, böyle bir yaklaşımın küçük bir yerel ayrıntıda takılıp kalabileceği (çok benzer diğer tasarımlardan daha iyi olduğu halde gerçekte optimal olmayan bir tasarım) kaygısında haklıdır. Ayrıca, Richard Dawkins gibi Lanier de ilginç biçimde, biyolojik evrimin (hiçbir organizmada gelişmemiş olduğu için) "tekerleği ıska geçtiğine" işaret etmektedir. Aslında bu tam olarak doğru değildir; örneğin, üç boyutlu ortamda taşıma için kullanılan bakteri kamçısının iyonik motoru gibi, protein düzeyinde tekerlek benzeri küçük yapılar vardır.[14] Daha büyük organizmalar söz konusu olduğunda tabii ki yollar olmadan tekerlekler pek kullanışlı değildir; bu nedenle de iki boyutlu yüzey ulaşımı için biyolojinin evrimiyle gelişmiş tekerlek yoktur.[15] Bununla bir-

---

13 Yaklaşık 1000 noktadan açılarak yayılan nöron bağlantısı bulunan tahminen 100 milyar nöron, yani 100 trilyon (10^{14}) bağlantı vardır. Her bağlantı, bağlantının iki ucundaki iki nöron için birer kimlik saklamak için en az 70 bit gereksinir. Bu da ortalama 10^{16} bit eder. Sıkıştırılmamış genom bile 6 milyar bit dolayında (yaklaşık 10^{10}), en az 106:1 oranındadır. *Bkz.* dördüncü bölüm.

14 *Bkz.* Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine*, cilt I, *Basic Capabilities*, bölüm 6.3.4.2, "Biological Chemomechanical Power Conversion" (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 147–148, http://www.nanomedicine.com/NMI/6.3.4.2.htm#p4; http://www.nanomedicine.com/NMI/Figures/6.2.jpg adresindeki çizim.

15 Richard Dawkins, "Why Don't Animals Have Wheels?" *Sunday Times*, 24 Kasım 1996, http://www.simonyi.ox.ac.uk/dawkins/WorldOfDawkins-archive/Dawkins/Work/Articles/1996-11-24wheels.shtml.

likte, evrim hem tekerleği hem de yolları yaratan bir türü geliştirmiş, böylece dolaylı da olsa çok sayıda tekerlek yaratmayı başarmıştır. Dolaylı yöntemler kullanmakta hiçbir sakınca yoktur; bu tür yöntemleri mühendislikte her zaman kullanırız. Aslında, dolaylama evrimin çalışma yöntemidir (yani, bir evrenin ürettiği ürünler diğer evreyi yaratır).

Beyin üzerinde ters mühendislik uygulamaları her nöronun teker teker kopyalanmasıyla sınırlı değildir. Beşinci bölümde, milyonlarca ya da milyarlarca nöronu barındıran önemli beyin bölgelerinin işlevsel olarak eşdeğer paralel algoritmaların uygulanmasıyla nasıl modellendiğini gördük. Bu tür nöromorfik yöntemlerin olabilirliği birkaç düzine kadar bölgenin model ve simülasyonlarıyla kanıtlandı. İrdelediğim şekilde bu, Lloyd Watts, Carver Mead ve diğerlerinin de ortaya koydukları gibi, çoğu zaman bilgi işlem gereksinimlerinin büyük oranda azaltılmasını sağlamaktadır.

Lanier, "Eğer karmaşık, kaotik bir olgu herhangi bir biçimde var ise, bu bizizdir," diye yazmıştır. Buna katılıyorum ama bir engel olarak görmüyorum. Benim özel ilgi alanım kaotik bilgi işlemdir. Kaotik bilgi işlem örüntü tanımamızı sağlar, dolayısıyla da insan zekâsının kalbidir. Kaos, örüntü tanıma sürecinin bir parçasıdır, süreci yürütür; bu yöntemlerden, beynimizde olduğu gibi, makinelerimizde yararlanmamız için hiçbir engel yoktur.

Lanier'e göre, "Evrim, örneğin cinselliği geliştirerek evrim geçirmiştir, ancak hiçbir zaman, yavaş olmanın dışında herhangi bir hıza ulaşmamıştır." Lanier'in bu yorumu yalnızca biyolojik evrim için geçerlidir, teknolojik evrim için geçerli değildir. Biyolojik evrimin ötesine geçebilmiş olmamızın nedeni tam da budur. Lanier, bir evrim sürecinin temel doğasını göz ardı etmektedir: İvme kazanır çünkü geçirdiği her aşama sonraki aşamanın oluşturulması için daha güçlü yöntemleri ortaya koyar. Biyolojik evrimin ilk aşamaları için (RNA) gerekmiş olan milyarlarca yıldan günümüzün hızlı tempolu teknolojik evrimine kadar geldik. Dünya Çapında Ağ yalnızca birkaç yıl içinde, yani örneğin Kambriyen patlamadan belirgin bir biçimde kısa olan bir sürede ortaya çıkmıştır. Bu olguların hepsi, yavaş yavaş başlamış, bugün görece hızlı ilerleyen ve birkaç on yıl içinde de şaşırtıcı bir hıza erişecek olan aynı evrimsel sürecin parçalarıdır.

Lanier, "Yapay Zekâ girişimlerinin tamamı düşünsel bir yanlışın üzerine kurulmuştur," diye yazmaktadır. Bilgisayarların her yönüyle insan zekâsına en azından eşit olacağı döneme kadar, kuşkucuların bardağın yarısının boş olduğunu söylemeleri daima mümkün olacaktır. Diğer hedeflere ulaşılamamış olduğu söylenip, yapay zekâ alanında elde edilen her yeni başarının dışlanması olasıdır. Gerçekten de yapay zekâ alanında çalışan bir profesyonelin yaşadığı sıkıntı budur: Bir yapay zekâ hedefine ulaşıldığında, bu artık yapay zekâ kapsamında düşünülmemekte, yalnızca genelde yararlı bir yöntem olarak görülmektedir. Yapay zekâ çoğu zaman, henüz çözülememiş problemler dizisi olarak algılanmaktadır.

Ancak makinelerin zekâsı gerçekten de gelişmektedir. Gerçekleştirebildikleri işlerin çeşitliliği ise –önceden zeki insanın dikkatini gerektiren işler– hızla çoğalmaktadır. Beşinci ve altıncı bölümlerde ele aldığımız gibi, bugün kullanılmakta olan yüzlerce dar yapay zekâ örneği vardır.

Birçok örnekten biri olarak s. 412-416'da "Deep Fritz Berabere" başlıklı kutu metninde, bilgisayarlı satranç yazılımının artık yalnızca bilgisayarın kaba kuvvetine dayanmadığına işaret ettim. 2002'de yalnızca sekiz kişisel bilgisayar üzerinde çalışan Deep Fritz, örüntü tanıma algoritmaları sayesinde IBM'in Deep Blue'sunun 1997'de gösterdiği başarıyı gösterdi. Bu tür niteliksel iyileşmelerin birçok örneğini yazılım zekâsında görüyoruz. Ancak insanın zihinsel kapasitesinin tamamının taklit edileceği zamana kadar, makinelerin gerçekleştirebilecekleri işlerin küçümsenmesi hep olasıdır.

İnsan zekâsının tam modellerini elde ettiğimizde makineler, insan düzeyinde örüntü tanıma yeteneğinin esneklik ve inceliklerini, makine zekâsının hız, bellek kapasitesi, en önemlisi de bilgi ve becerileri kolaylıkla paylaşabilme gibi doğal avantajlarıyla birleştirebilecektir.

Analog İşlem Eleştirisi

Zoolog ve evrimsel algoritma uzmanı Thomas Ray gibi eleştiride bulunan birçok kişi, zeki bilgisayarların gerçekleşeceğini kabul eden benim gibi kuramcıları "sayısal ortamın kendine özgü doğasını dikkate almadığımız" iddiasıyla suçlarlar.[16]

16 Thomas Ray, "Kurzweil's Turing Fallacy," Richards vd, *Are We Spiritual Machines*? içinde.

Her şeyden önce benim tezim, tıpkı insan beyninin yaptığı gibi, analog ve sayısal yöntemlerin birleştirilmesini içerir. Örneğin, daha gelişmiş nöron ağları şimdiden insanın nöronlarının ayrıntılı, doğrusal olmayan, analog etkinleştirme işlevleri de dahil, ileri düzeyde birçok modelini kullanmaktadır. Beynin analog yöntemlerini taklit etmenin sağladığı önemli bir verimlilik avantajı vardır. Ayrıca analog yöntemler biyolojik sistemlerin özel uzmanlık alanı değildir. İkinci Dünya Savaşı sırasında bütün dünyada yaygın olarak kullanılan analog bilgisayardan ayırt edebilmek için "sayısal bilgisayar" terimini kullanırdık. Carver Mead'in çalışması, silikon devrelerin, memelilerin nöron devrelerine tam benzer biçimde, aslında de bu devrelerden yola çıkarak, sayısal denetimli analog devreleri uygulama yeteneğini ortaya koymuştur. Analog yöntemler zaten özünde analog aygıtlar olan geleneksel transistörlerce yeniden oluşturulmaktadır. Yalnızca transistörün ürettiği çıktıyı bir eşikle kıyaslayan düzeneğin eklenmesiyle sayısal bir aygıta dönüştürülmektedir.

Daha önemlisi, analog yöntemlerin başarıp da sayısal yöntemlerin aynı biçimde başaramayacağı hiçbir şey yoktur. Analog süreçlerin sayısal yöntemlerle (kayan noktalı gösterim kullanılarak) taklit edileblir, oysa aksi mutlaka geçerli değildir.

Sinirsel İşlemin Karmaşıklığı Eleştirisi

Yaygın bir başka eleştiri de beynin biyolojik tasarımının ince ayrıntılarının biyolojik olmayan teknolojiyle modellenip simüle edebilmek için tek kelimeyle çok karmaşık olduğudur. Örneğin Thomas Ray şöyle yazar:

> Beynin ya da bileşenlerinin yapısı ve işlevi birbirinden ayrılamaz. Dolaşım sistemi beyne yaşamsal destek verir ama aynı zamanda beynin kimyasal bilgiyi işleme görevinin ayrılmaz bir parçası olan hormonları da sağlar. Bir nöronun zarı, nöronun sınırlarını ve sağlamlığını belirleyen yapısal bir ögedir, ama aynı zamanda kutupsuzlaşma sinyalleri yaydığı yüzeydir. Yapısal ve yaşamsal destek işlevleri bilginin işlenmesi sürecinden ayrılamaz.[17]

17 *Age.*

Ray sözlerini sürdürerek, beynin sergilediği "çok çeşitlilik gösteren kimyasal iletişim düzeneklerinden" birkaçını betimler.

Gerçekte tüm bu özellikler kolaylıkla modellenebilmektedir; daha şimdiden bu yönde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Ortak dil matematiktir, matematik modellerin eşdeğer biyolojik olmayan modellere çevrilmesiyse (bunun örnekleri arasında bilgisayar simülasyonları ve transistörleri yerel analog kiplerinde kullanan devreler yer alır) görece kolay bir işlemdir. Örneğin, hormonların dolaşım sistemi yoluyla getirilmesi son derece düşük bant genişliği gerektiren bir olgudur; modellenip, kopyalanması hiç zor değildir. Belirli hormonlar ile başka bazı kimyasalların kan düzeyleri, çok sayıda sinaps üzerinde eşzamanlı etkide bulunan parametre düzeylerini etkilemektedir.

Thomas Ray, "Metal bilgi işlem sistemi temel olarak farklı dinamik özelliklerle çalışır, bir beynin işlevlerini asla doğru ve aynen 'kopyalayamaz' " sonucuna varır. Nörobiyoloji, beyin taraması, nöron ve nöron bölgelerinin modellenmesi, nöral-elektronik iletişim, sinirsel implanta ilişkin alanlarla ilgili girişimlerde kaydedilen ilerlemeyi yakından izlersek, biyolojik bilgi işlemin öne çıkan işlevlerini kopyalama yeteneğimizin, elde edilmek istenen her doğruluk düzeyini karşılayabileceğini görürüz. Bir başka deyişle, kopyalanan işlevsellik, akla gelebilecek her tür amaca ya da hedefe yönelik olarak bir Turing testi bilirkişisini ikna etmek dahil, "yeterince yakın" olabilecektir. Ayrıca, matematik modellerin verimli uygulamalarının da modellenen biyolojik nöron kümelerinin kuramsal potansiyelinden çok daha az bilgi işlem kapasitesini gereksindiğini görüyoruz. Dördüncü bölümde bunu kanıtlayan bazı beyin bölgesi modellerini (Watts'ın işitme bölgeleri, beyincik ve diğerleri) inceledim.

Beynin Karmaşıklığı. Thomas Ray, insan beyninin karmaşıklık düzeyine atfettiği "milyarlarca satırlık kodlara" eşdeğer bir sistemin yaratılmasında güçlük yaşayabileceğimizi de ileri sürer. Ancak bu çok şişirilmiş bir değerdir; gördüğümüz gibi, beyinlerimiz ancak otuz ile yüz milyon bit arası özgün bilgiden oluşan bir genomdan oluşmuştur (sekiz yüz milyon sıkıştırılmamış bit vardır ancak yüksek artıklık miktarı düşünüldüğünde sıkıştırmanın uygun olduğu açıktır), bunun belki de ancak üçte ikisi beynin çalışma ilkelerini tanımlar. Bu kadar küçük tasarım bilgisinin erişkin

insan beyninde yer alan trilyonlarca bitlik bilgi olarak genişlemesini sağlayan rastlantısallığın önemli unsurlarını (aynı zamanda gerçek dünyaya açılmayı) içeren kendiliğinden düzenlenme süreçleridir. Benzer biçimde, biyolojik olmayan bir varlıkta insan düzeyinde zekânın yaratılması işleminde de milyarlarca kural ya da kod satırından oluşan çok büyük bir uzmanlaşmış sistemin yaratılması değil, sonuçta yine biyolojiden esinlenmiş, öğrenen, kaotik, kendiliğinden düzenlenen bir sistem söz konusudur.

Ray şöyle sürdürür: "Mühendis olanlarımız fulleren anahtarlar kullanan nanomoleküler aygıtlar, hatta DNA benzeri bilgisayarlar önereceklerdir. Ama eminim ki nöronu akıllarına getirmeyeceklerdir. Nöronlar, işe başladığımız moleküllere kıyasla astronomik ölçeklerde büyük yapılardır."

Benim de söylediğim tam budur. İnsan beyni üzerinde ters mühendislik işlemi uygulanmasının amacı biyolojik nöronların sindirici ya da diğer hantal süreçlerini kopyalamak değil, başlıca bilgi işleme yöntemlerini anlamaktır. Bunu gerçekleştirmenin mümkün olduğu, düzinelerce güncel projeyle kanıtlandı. Taklit edilen nöron kümelerinin karmaşıklığı, tüm diğer teknolojik yeteneklerimizle birlikte büyüklük kertelerine göre artmaktadır.

Bir Bilgisayarın Doğal İkiciliği. Redwood Sinirbilim Enstitüsünün sinirbilimcilerinden Anthony Bell, beyni bilgi işlem yöntemleriyle modelleme ve simüle etme yeteneğimizin önünde duran iki güçlükten söz eder. Bunlardan ilkini şöyle açıklar:

> Bilgi işlemi yürüten mantık yapısıyla çakışmayacak biçimde tasarlanmış fiziksel yapısıyla, bilgisayar doğal olarak ikici bir varlıktır. Deneysel araştırmalarda beynin ikici bir varlık olmadığı sonucunu elde ediyoruz. Bilgisayar ve program iki varlık olabilir ama akıl ve beyin tektir. Yani beyin bir makine değildir, bunun anlamı beynin fiziksel örneklemenin modelin (ya da programın) yürütülmesini engellemeyeceği biçimde fiziksel olarak örneklenmiş sonlu bir model (ya da bilgisayar) olmadığıdır.[18]

18 Anthony J. Bell, "Levels and Loops: The Future of Artificial Intelligence and Neuroscience," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 354 (1999): 2013–20, http://www.cnl.salk.edu/~tony/ptrsl.pdf.

Bu savdan kolaylıkla vazgeçilebilir. Bir bilgisayarda, program ile bilgi işlemi yürüten fiziksel örneğin birbirinden ayırt edilebilmesi kısıtlama değil, bir avantajdır. Her şeyden önce "bilgisayar ile programın" iki değil tek olduğu özel devreleri bulunan elektronik aygıtlarımız var. Bu tür aygıtlar programlanabilir değildir, belirli tek bir algoritma kümesine uygun bağlantılarla yapılandırılmışlardır. Burada yalnızca, cep telefonlarında ya da cep bilgisayarlarında bulunan türden, salt okunur belleğe sahip yazılım kullanan ("yerleşik yazılım" denen) bilgisayarlardan söz etmediğime dikkat çekmek isterim. Böyle bir sistemde, program kolaylıkla değiştirilemese de elektronik ve yazılım yine ikici olarak düşünülebilir.

Hiçbir biçimde programlanamayan –(örneğin, görüntü ve sinyal işleme için kullanılan) uygulamaya özel tümleşik devreler gibi– özel mantığı olan sistemlerden söz ediyorum. Algoritmaların bu şekilde uygulanması maliyet verimliliği sağlar ve birçok elektronik tüketim ürününde bu tür devreler kullanılmaktadır. Programlanabilir bilgisayarlar daha pahalıdır; ancak yazılımın değiştirilip yükseltilmesine izin veren esneklik sunarlar. Programlanabilir bilgisayarlar, nöron bileşenleri, nöronlar ve beyin bölgeleri için (beyinde ters mühendislik uygulaması çabalarımızla) keşfetmekte olduğumuz algoritmalar dahil, her tür işe özel sistemin işlevselliğini taklit edebilirler.

Mantık algoritmasının yapısal olarak fiziksel tasarıma bağlı olduğu bir sistemi "makine olmayan" diye nitelemenin geçerliliği yoktur. Sistemin çalışma ilkeleri anlaşılabilir, matematik olarak modellenebilir, ardından da başka bir sistem üzerinde örneklenebilirse (bu diğer sistem işe özel, mantığı değiştirilemez bir makine ya da programlanabilir bir bilgisayar üzerindeki yazılım olsun), o zaman onu bir makine ve yetenekleri bir makine olarak yeniden yaratılabilecek bir varlık olarak tabii ki düşünebiliriz. Dördüncü bölümde kapsamlı olarak irdelediğim gibi beynin çalışma ilkelerini anlamamız ve bu ilkeleri moleküler etkileşiminden başlayıp ilerleyerek, başarıyla modelleyip simüle etmemiz için bir engel yoktur.

Bell, bir bilgisayarın "mantık yapısını engellememek üzere tasarlanmış fiziksel yapısına" atıfta bulunarak, beynin böyle bir "sınırlamasının" olmadığını ima etmektedir. Bell, düşüncelerimizin

beynimizin oluşturulmasına yardımcı olduğu konusunda haklıdır; daha önce belirttiğim gibi bu olguyu dinamik beyin taramalarında gözlemliyoruz. Ancak beynin plastisitesinin hem fiziksel hem de mantıksal yönlerini yazılımda kolaylıkla modelleyip simüle edebiliyoruz. Bir bilgisayarın yazılımının, o bilgisayarın fiziksel örneklemesinden ayrı olması, yazılımın iyileştirilen donanıma uygulanabilmesi açısından mimari bir avantajdır. Beynin değişen devreleri gibi, bilgisayar yazılımı da hem kendini değiştirebilmekte hem de yükseltilebilmektedir.

Bilgisayar donanımı benzer biçimde yazılım değişikliği gerektirmeden yükseltilebilmektedir. Ciddi boyutlarda sınırlı olan beynin görece değişmez mimarisidir. Beyin yeni bağlantılar ve nöro-iletici örüntüler oluşturma yeteneğine sahip olsa da, elektronikten bir milyon kez daha yavaş kimyasal sinyallerle kafatasımızın içine sığabilecek sınırlı sayıda nöronlar arası bağlantılarla kısıtlıdır ve ele aldığım biyolojik olmayan zekâyla birleşme yöntemi dışında herhangi bir biçimde yükseltilme yeteneğine sahip değildir.

Düzeyler ve Döngüler. Bell, beynin açık karmaşıklığını da yorumlar:

> Nöron altı düzeyde gerçekleşen en açık müdahalelerden yalnızca dördünü saymak gerekirse, moleküler ve biyofiziksel süreçler, nöronların gelen akımlara karşı duyarlılıklarını (hem sinaptik verimlilik hem de post sinaptik tepkisellik), nöronun akım oluşturmak üzere uyarılmasını, üretebildiği akım örüntülerini, yeni sinaps oluşumu olasılığını (dinamik yeniden bağlantı) denetler. Ayrıca, yerel elektrik alanları gibi nöronlar arası hacim etkileri ve nitrik oksitin membranlar arası yayılmasının da, sırasıyla, nöronların tutarlı biçimde ateşlemelerini ve hücrelere enerji taşınmasını (kan akışı) etkiledikleri görülmüştür; bunlardan ikincisi doğrudan sinirsel etkinlikle ilgilidir.
>
> Bu liste uzatılabilir. Nöromodülatörleri, iyon kanallarını ya da sinaptik mekanizmayı ciddi olarak inceleyen birinin, eğer dürüst yaklaşıyorsa, yararlı bir tanımlayıcı düzey olduğunu düşünse bile, nöron düzeyini ayrı bir bilgi işlem düzeyi olarak dışlaması gerekecektir.[19]

19 *Age.*

Bell, nöronun, beynin simüle edilmesi için doğru düzey olmadığını öne sürse de buradaki temel savı, Thomas Ray'in yukarıda aktarılan savına benzer: Beyin, basit mantık geçitlerinden daha karışıktır.

Bunu da açar:

> Yapılandırılmış bir miktar su ya da bir kuantum eşevreliğin, beynin işlevinin betimlenmesinin gerekli bir ayrıntısı olduğunu savunmak kuşkusuz gülünç olacaktır. Ancak, eğer moleküller her hücrede bu molekül altı süreçlerden sistematik işlevsellik türetirlerse, eğer bu süreçler her an, beynin her yanında, moleküler dalgalanmaların uzaysal–zamansal ilişkilerini yansıtmak, kaydetmek ve yaymak için, tepkilerin olasılık ve belirliliklerini artırmak ya da azaltmak için kullanılırsa, o zaman mantık geçitlerinden niteliksel olarak farklı bir durum söz konusudur.

Bell, bir düzeyde, birçok nöron ağı projesinde kullanılan basit nöron ve merkezi bağlantı modeline karşı çıkmaktadır. Ancak beyin bölgelerinin simülasyonları bu basitleştirilmiş modelleri kullanmazlar, beyin üzerinde uygulanan ters mühendislik işlemlerinden elde edilen sonuçlara dayanan gerçekçi matematik modelleri uygularlar.

Bell'in asıl ileri sürdüğü, beynin çok karışık olduğu, bunun sonucu olarak da işlevselliğini anlamanın, modellemenin ve simüle etmenin zor olduğudur. Bell'in yaklaşımındaki temel sorun, beynin tasarımının kendiliğinden düzenlenen, kaotik, fraktal doğasını açıklayamamasıdır. Beynin karmaşık olduğu elbette doğrudur ama bu karışıklığın büyük bölümü gerçekte olduğundan çok daha belirgindir. Bir başka deyişle, beynin tasarımının ilkeleri göründüğünden daha basittir.

Bunu anlayabilmek için önce, ikinci bölümde ele aldığım, beynin düzeninin fraktal doğasına bakalım. Bir fraktal, bir örüntü ya da tadarımın yaratılması için yinelenerek uygulanan bir kuraldır. Kural çoğu zaman oldukça basittir, ancak yineleme nedeniyle sonuçta ortaya çıkan örüntü olağanüstü derecede karmaşık olabilmektedir. Bunun çok tanınan bir örneği, matematikçi Benoit Man-

delbrot tarafından bulunan Mandelbrot kümesidir.[20] Mandelbrot kümesinin görsel imgeleri, sonsuz karışıklığa sahip tasarımlar içinde yer alan tasarımlarla son derece karmaşıktır. Mandelbrot kümesindeki bir imgenin giderek daha ince ayrıntısına baktığımızda karmaşıklık asla yok olmaz, giderek incelen bir karmaşıklığı görmeye devam ederiz. Bununla birlikte, tüm bu karmaşıklığın temelini oluşturan formül şaşırtıcı derecede basittir: Mandelbrot kümesi tek bir formülle tanımlanır: $Z = Z^2 + C$, burada Z "karmaşık" (yani iki boyutlu) bir sayıdır, C ise bir sabittir. Formül tekdüze yinelenerek uygulanmaktadır, sonuçta ortaya çıkan iki boyutlu noktalar grafik üzerinde düzenlenerek örüntüyü oluştururlar.

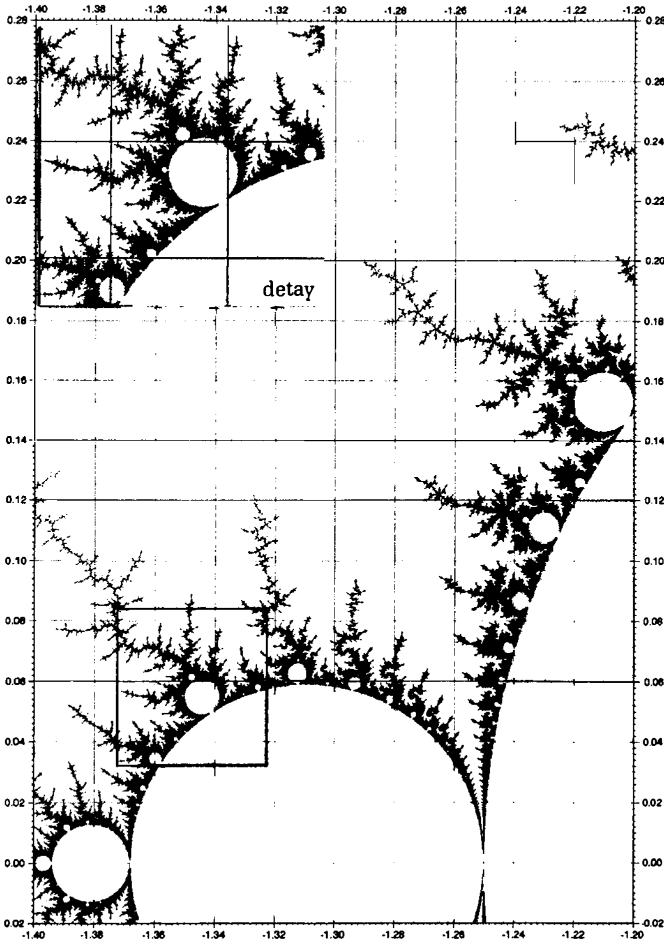
Burada söz konusu olan, basit bir tasarım kuralının, çok fazla belirgin karmaşıklık yaratabilmesidir. Stephen Wolfram, hücresel otomatlar üzerinde basit kurallar kullanarak benzer bir şeyi ortaya koyar (*bkz.* ikinci bölüm). Bu bakış, beynin tasarımı için geçerlidir. İrdelediğim gibi, sıkıştırılmış genom görece kompakt bir tasarımdır; günümüzün bazı yazılım programlarından daha küçüktür. Bell'in işaret ettiği gibi, beynin asıl uygulaması bundan çok daha karmaşık gibi görünmektedir. Mandelbrot kümesinde olduğu gibi beynin giderek daha ayrıntılı özelliklerine baktığımızda, her düzeyde kendini daha fazla belli eden karmaşıklığı görürüz. Makro düzeyde bağlantıların örüntüleri karışık görünür, mikro düzeydeyse bir nöronun dendrit gibi tek bir bölümü aynı derecede karışık görünür. İnsan beynini tanımlamak için bin kere trilyonlarca bitin gerekeceğini belirtmiştim, ancak tasarımı yalnızca on milyonlarca bittir. Yani, beynin görünürdeki karmaşıklığının tasarım bilgisine oranı en az yüz milyonda birdir. Beyni oluşturan bilgi büyük ölçüde rastlantısal bilgi olarak başlar, ancak beyin karmaşık bir ortamla etkileşime girdiği zaman (yani, o kişi öğrenip, olgunlaştıkça) o bilgi anlam kazanır.

Tasarımın asıl karmaşıklığı, tasarımda sıkıştırılmış olarak yer alan bilgi (yani, genom ve destekleyici moleküller) tarafından yönetilir, tasarım kurallarının yinelenerek uygulanmasıyla yaratılan örüntüler tarafından değil. Genomda bulunan kabaca otuz ile yüz milyon bit arası bilginin basit bir tasarım oluşturmadığı

20 David Dewey, "Introduction to the Mandelbrot Set," http://www.ddewey.net/mandelbrot.

düşüncesine katılırım (Mandelbrot kümesinin tanımında yer alan altı karakterden tabii ki daha karmaşıktır); ama bu, elimizdeki teknolojiyle zaten yönetebileceğimiz bir karmaşıklık düzeyidir. Beynin fiziksel örneklemesindeki belirgin karmaşıklık birçok gözlemcinin aklını karıştırır; tasarımın fraktal yapısını görememek, asıl tasarım bilgisinin beyinde gördüğümüzden çok daha basit olduğunu gösterir.

Mandelbrot Kümesi



İkinci bölümde ayrıca, genomdaki tasarım bilgisinin bir olasılık fraktalı olduğunu, yani bir kuralın her yinelenişinin kuralların belli bir rastlantısallık oranında uygulanmasıyla olduğunu belirttim. Örneğin, genomda beyindeki nöronların yarısından fazlasını oluşturan beyinciğin bağlantılarının örüntüsünü tanımlayan çok az bilgi bulunur. Az sayıdaki gen, beyincikte yer alan dört hücre tipinin temel örüntülerini tanımlar, ardından da temel olarak "Bu örüntüyü birkaç milyar kez yinele, her yinelemede rastlantısal değişim kullan," der. Sonuç çok karışık görünebilir ancak tasarım bilgisi oldukça derli topludur.

Bell, beynin tasarımının geleneksel bir bilgisayarla kıyaslanmaya çalışılmasının düş kırıklığına yol açacağını söylerken haklıdır. Beyin, tipik bir yukarıdan aşağı (modüler) tasarım izlemez. Kaotik –yani tam olarak öngörülemeyen– süreçler yaratabilmek için olasılık fraktalı tipinde bir düzenle çalışır. Hava durumundaki değişimler, finans piyasaları gibi olguları anlamak için kullanılan ve beyne de uygulanabilecek kaotik sistemlerin modellenip, simüle edilmesi için epeyce gelişmiş matematiksel bilgi vardır.

Bell bu yaklaşımdan söz etmez. Beynin neden geleneksel mantık geçitlerinden ve geleneksel yazılım tasarımından farklı olduğunu irdeler, bu da onu, bir temele dayanmadan, beynin bir makine olmadığı, bir makine tarafından modellenemeyeceği sonucuna götürür. Bell, standart mantık geçitleri ile geleneksel modüler yazılımın beyin üzerinde düşünmek için uygun yollar olmadığı konusunda haklı olmakla birlikte, bu, beyni bilgisayar üzerinde simüle edemediğimiz anlamına gelmez. Beynin çalışma ilkelerini matematiksel terimlerle tanımlayabildiğimiz ve her tür matematiksel süreci (kaotik olanlar dahil) bilgisayar üzerinde modelleyebildiğimiz için bu tür simülasyonları uygulayabiliyoruz. Üstelik bu alanda elle tutulur, giderek ivme kazanan bir ilerleme kaydediyoruz.

Bell, kuşkuculuğuna karşın biyolojimizi ve beynimizi, onları geliştirebilecek kadar iyi kavrayacağımıza olan inancını sakınarak dile getirir. Bu konuda şöyle yazar: "İnsanötesi (transhümanist) bir çağ olacak mı? Biyolojik evrimin iki önemli adımında bunun sağlam iki örneği yaşandı. Birincisi, prokaryotik simbiyotların ökaryotik bakterilerle birleşmesi, ikincisiyse ökaryot kolonilerinden çok hücreli yaşam biçimlerinin ortaya çıkmasıdır... Ben, [insanötesi çağa] benzer bir şeyin gerçekleşebileceğine inanıyorum."

Mikrotübüller ve Kuantum Bilgi İşlem Eleştirisi

Kuantum mekaniği gizemlidir, bilinç de gizemlidir. Q.E.D.: Kuantum mekaniği ile bilinç arasında bir ilişki olmalıdır.
—Christof Koch, Roger Penrose'un insan bilincinin kaynağı olarak nöron tübüllerinde kuantum bilgi işlem kuramını alaya alması[21]

Tanınmış fizikçi ve felsefeci Roger Penrose, anestezi uzmanı Stuart Hameroff'la birlikte on yıldır, nöronlardaki mikrotübül adı verilen küçük yapıların "kuantum bilgi işlem" denen ilginç bir bilgi işlem yürüttüğünü ileri sürmektedir. İrdelediğim gibi, kuantum bilgi işlem aynı anda olası tüm çözüm bileşimlerini üstlenebilen, kübit ya da kuantum bitleri adı verilen birimle yapılan bilgi işlemdir. Yöntem, paralel işlemenin uç bir biçimi olarak düşünülebilir (çünkü kübitlerin her değer bileşimi eşzamanlı olarak test edilir). Penrose, mikrotübüllerin ve mikrotübüllerin kuantum bilgi işlem yürütme yeteneklerinin nöronların yeniden yaratılması ve zihin dosyalarının yeniden örneklendirilmesi düşüncesini karmaşıklaştırdığını ileri sürer.[22] Ayrıca, beynin yürüttüğü kuantum bilgi işlemin bilinçten sorumlu olduğunu ve biyolojik ya da başka türdeki sistemlerin kuantum bilgi işlem olmadan bilince sahip olamayacaklarını varsayar.

Her ne kadar bazı bilim insanları beyinde kuantum dalga fonksiyonunun çöküşünü (konum, devir, hız gibi belirsiz kuantum özelliklerin belirlenmesi) saptadıklarını iddia etmişlerse de kimse insan yeteneklerinin gerçekte kuantum bilgi işleme kapasitesini gerektirdiğini söylememiştir. Fizikçi Seth Lloyd bu konuda şunları söylemiştir:

21 Christof Koch'dan alıntı: John Horgan, *The End of Science* (Reading, MA: Addison-Wesley, 1996).

22 Roger Penrose, *Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness* (New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1996); Stuart Hameroff ve Roger Penrose, "Orchestrated Objective Reduction of Quantum Coherence in Brain Microtubules: The 'Orch OR' Model for Consciousness," *Mathematics and Computer Simulation* 40 (1996): 453–80, http://www.quantumconsciousness.org/penrosehameroff/orchOR.html.

> Bence mikrotübüller, [Penrose] ile Hameroff'un öne sürdüğü şekilde beyinde bilgi işlem yürütmez. Beyin sıcak, sulu bir yerdir. Kuantum eşevreliğinden yararlanmak için uygun bir yer değildir. Onların araştırdıkları mikrotübüllerin üst üste gelme, birleşme/dağılma biçimleri kuantum dolaşıklığı göstermez gibidir. ... Beynin hiçbir biçimde klasik, sayısal bir bilgisayar olmadığı açıktır. Yine de, tahminimce birçok görevini "klasik" yöntemlerle yerine getirmektedir. Yeterince güçlü bir bilgisayarla tüm nöronları, dendritleri, sinapsları ve bunlar gibi yapıları modellerseniz, [o zaman] bilgisayarın beynin yerine getirdiği görevlerin çoğunu yürütmesini belki sağlayabilirsiniz. Beynin, görevlerini yerine getirirken herhangi bir kuantum dinamiğinden yararlandığını sanmıyorum.[23]

Anthony Bell ayrıca, "Süper akışkanlar ile süper iletkenlerde görülen türden büyük ölçekli makroskopik kuantum eşevreliklerin beyinde gerçekleştiğine dair hiçbir kanıt yoktur," der.[24]

Bununla birlikte, beyin kuantum bilgi işlem yürütse bile, bu, ne insan düzeyinde bilgi işlemin (ve ötesinin) geleceğine bakışı önemli ölçüde değiştirir ne de beynin yüklenmesinin uygulanabilirliğinin olmadığını gösterir. Her şeyden önce, eğer beyin kuantum bilgi işlem yürütüyorsa, bu yalnızca kuantum bilgi işlemin mümkün olduğunu gösterir. Böyle bir bulgu hiçbir yönüyle kuantum bilgi işlemin biyolojik düzeneklerle kısıtlı olduğunu göstermez. Eğer biyolojik kuantum bilgi işlem düzenekleri varsa bunlar kopyalanabilir. Bununla birlikte, son zamanlarda küçük ölçekli kuantum bilgisayarlarla yürütülen deneyler başarılı olmuş gibidir. Geleneksel transistör bile elektron tünellemenin kuantum etkilerine dayanmaktadır.

Penrose'un öne sürdüğü düşünceler, bir dizi kuantum durumun mükemmel biçimde kopyalanabilmesinin olanaksız olduğu, bu nedenle bilgi yüklemenin mükemmel olmasının da olanaksız olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Peki, bilgi yükleme eyleminin ne kadar mükemmel olması gerekir? Bilgi yükleme teknolojisini

---

23 Sander Olson, "Seth Lloyd'la Söyleşi," 17 Kasım 2002, http://www.nanomagazine.com/i.php?id=2002_11_17.

24 Bell, "Levels and Loops."

"kopya" ile orijinal olanın, insanın kendisine bir dakikalık bir süre içinde benzeyeceği noktaya kadar geliştirirsek, bu, akla gelebilecek herhangi bir amaç için yeterince iyi olacak, yine de kuantum durumları gerektirmeyecektir. Teknoloji iyileştikçe kopyanın doğruluğu, giderek daha kısa sürelerle (bir saniye, bir milisaniye, bir mikrosaniye) orijinaline yaklaşacaktır.

Kendisine nöronların (hatta nöronlar arasındaki bağlantıların) kuantum bilgi işlem için çok büyük oldukları söylendiğinde, Penrose sinirsel kuantum bilgi işlem için olası bir düzenek olarak tübül kuramını gösterdi. Aranılan, beyin işlevlerinin kopyalanmasının önüne konacak engeller ise, bu dâhice bir kuramdır; ancak herhangi bir gerçek engel gösterememektedir. Bununla birlikte, nöronların yapısal bütünlüğünü oluşturan mikrotübüllerin kuantum bilgi işlem yürüttüğünü, bu yeteneğin de düşünme işlemine herhangi bir katkısı olduğunu gösteren kanıt çok azdır. Beyin büyüklüğünün bugünkü tahminleri, günümüzün nöronların mikrotübül tabanlı kuantum bilgi işlem içermeyen çalışma modellerine dayanarak insanın bilgi ve potansiyelinin en cömert modellerini bile rahat rahat açıklamaktadır. Son zamanlarda yapılan ve melez biyolojik/biyolojik olmayan ağların da tüm biyolojik ağlara benzer biçimde çalıştıklarını gösteren ancak belirleyici olmayan deneyler, sinirsel işlemlerin mikrotübül kullanmayan modellerinin yeterli olduğunu tartışmasız biçimde ortaya koymaktadır. Lloyd Watts'ın geliştirdiği, insanın işitme sisteminin ayrıntılı modelinin yazılım simülasyonu, simüle ettiği nöron ağlarından çok daha az bilgi işlem kullanır ve yine, kuantum bilgi işlemin gerektiğine dair hiçbir belirti göstermez. Dördüncü bölümde beyin bölgelerinin modellenmesi ve simülasyonu için gösterilen çabaları ele alırken üçüncü bölümde de farklı bölgelerin işlevsel olarak eşdeğer simülasyonlarına dayanarak beynin tüm bölgelerinin simülasyonu için gereken bilgi işlem miktarının hesaplanmasını irdeledim. Bu çözümlemelerin hiçbiri insan düzeyinde performansın elde edilmesi için kuantum bilgi işlemin gerekliliğini göstermemektedir.

Nöronların bazı ayrıntılı modelleri (özellikle Penrose ile Hameroff'un modelleri), dendrit ve aksonların çalışması ve büyümesinde mikrotübüllere bir rol verir. Ancak, nöron bölgelerinin başarılı nöromorfik modelleri mikrotübül bileşenler gerektirmiyor

gibi gözükmektedir. Mikrotübülleri dikkate alan nöron modellerinde, her bir mikrotübül telini tek tek modellemeden, kaotik davranışlarının genel olarak modellenmesi inandırıcı sonuçlar verir gibi görünmektedir. Ancak, Penrose–Hameroff tübülleri önemli bir etmen olsa da bunların açıklanabilmesi yukarıda irdelediğim tahminleri önemli bir ölçüde değiştirmez. Bilgi işlemin büyümesi modelime göre, tübüller nöron modellerinin karmaşıklığını bin katına katlasa bile (günümüzün tübülsüz nöron modellerimizin, her nöronda yaklaşık bin bağlantı, birçok doğrusalsızlık ve diğer ayrıntılarla, zaten karmaşık olduğunu unutmayın) bu, bizim beynin kapasitesine ulaşma süremizi yalnızca dokuz yıl geciktirecektir. Bir milyon katına katlarsa da bu yalnızca on yedi yıl demektir. Milyar katıyla ise yirmi dört yıl dolayında olacaktır (bilgi işlemin çift üstel büyüdüğünü dikkate alın).[25]

Church–Turing Tezi Eleştirisi

Yirminci yüzyılın başlarında matematikçiler Alfred North Whitehead ile Bertrand Russell, matematiğin bütünü için bir temel oluşturabilecek aksiyomları araştırdıkları, *Principia Mathematica* [*Matematiğin İlkeleri*] adlı çığır açan çalışmalarını yayımladılar.[26] Ne var ki, doğal sayıları (pozitif tam sayılar ya da sayma sayıları) üretebilen aksiyomatik bir sistemin çelişkilere yol açmayacağını kesin olarak kanıtlayamadılar. Böyle bir kanıtın er ya da geç bulunacağı varsayılıyordu. Ancak, 1930'larda genç bir Çek matematikçi olan Kurt Gödel, ne kanıtlanabilen ne de aksi kanıtlanabilen önermelerin böyle bir sistemin içinde kaçınılmaz olarak bulunduğunu ortaya koyarak matematik dünyasını şaşkına çevirdi. Bu türden kanıtlanmamış önermelerin kanıtlanabilen önermeler kadar olağan olduğu daha sonra ortaya konuldu. Gödel'in mantığın, matematiğin, buradan giderek de bilgi işlemin yapabileceklerinin açık sınırları olduğunu gösteren temel bir kanıt olan eksiklik teoremi, tüm matematiğin en önemli kuramı olarak nitelendirilmiştir ve hâlâ tartışılmaktadır.[27]

---

25 *Bkz.* ikinci bölümdeki bilgi işlemin üstel büyümesi grafikleri (s. 53, 55).
26 Alfred N. Whitehead ve Bertrand Russell, *Principia Mathematica*, 3 cilt (Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1910, 1912, 1913).
27 Gödel'in eksiklik teoremi ilk olarak "Über formal unentscheiderbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I" adlı makalesinde yayımlanmıştır: *Monatshefte für Mathematik und Physik* 38 (1931): 173–198.

Benzer bir sonuca bilgi işlemin doğasının anlaşılması bağlamında Alan Turing tarafından ulaşıldı. Turing 1936'da, bugün de modern bilgi işlem kuramının temelini oluşturan (ikinci bölümde betimlenen) Turing makinesini bir bilgisayarın kuramsal modeli olarak ortaya koyduğunda, Gödel'inkine benzer beklenmedik bir keşfini bildirmiştir.[28] O yıl yayımladığı makalesinde, çözülemeyen problemler kavramını açıklamıştır; yani, iyi tanımlanmış, var olduğu gösterilebilen tek yanıtları olan ama aynı zamanda bir Turing makinesiyle asla hesaplanamayacağını gösterebileceğimiz problemler kavramını.

Bu kuramsal makineyle çözülemeyecek problemlerin varlığı, Turing'in diğer makalesinin vardığı sonuca dikkat edilinceye kadar şaşırtıcı gelmeyebilir: Turing makinesi herhangi bir bilgi işleme sürecini modelleyebilir. Turing, çözülemeyen problemlerin çözülebilir problemlerle aynı sayıda, her ikisinin sayısının da en düşük sonsuzluk kertesinde, sözde sayılabilir sonsuzlukta (yani, tam sayıların sayısının sayılması) olduğunu göstermiştir. Turing ayrıca, doğal sayıları temsil edecek kadar güçlü olan isteğe göre düzenlenmiş bir mantık sisteminde herhangi bir mantık önermesinin doğru ya da yanlışlığının saptanması sorununun çözümsüz bir probleme bir örnek olduğunu kanıtlamıştır, bu da Gödel'in vardığı sonuçla benzerdir. (Bir başka deyişle, bu soruyu bu tür tüm önermeler için yanıtlaması kesin olan hiçbir yöntem yoktur.)

Yaklaşık aynı dönemde Amerikalı matematikçi ve felsefeci Alonzo Church benzer bir soruyu aritmetik bağlamında inceleyen bir teorem yayımladı. Church, bağımsız olarak Turing'le aynı sonuca varmıştır.[29] Birlikte ele alındığında, Turing, Church ve Gödel'in çalışmaları, mantık, matematik ve bilgi işlemin yapabileceklerinin belirli sınırları olduğunun ilk resmi kanıtlarıydı.

---

28 Alan M. Turing, "On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem," *Proceedings of the London Mathematical Society* 42 (1936): 230–265. "Entscheidungsproblem," karar verme ya da durdurma sorunudur, yani, bir algoritmanın duracağının (bir karar vereceğinin) ya da sonsuz bir döngüyle sürüp gideceğinin önceden saptanması yöntemidir.

29 Church'ün yorumu Alonzo Church, "An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory," *American Journal of Mathematics* 58 (1936): 345–363 içinde yer almaktadır.

Ayrıca, Church ile Turing birbirlerinden bağımsız olarak, Church–Turing tezi olarak kabul edilen bir kanıya varmışlardır. Bu tezin hem güçsüz hem de güçlü yorumları vardır. Güçsüz yorum, eğer bir Turing makinesine verilebilen bir problem çözülebilir bir problem değilse, bu problemin hiçbir makine tarafından çözülemeyeceğidir. Bu sonuç, Turing'in, Turing makinesinin her algoritmik süreci modelleyebileceğini kanıtlamasından gelmektedir. Buradan yola çıkarak bir makinenin davranışının bir algoritmayı izlediğini betimlemek yalnızca küçük bir adımı gerektirir.

Güçlü yorum ise, bir Turing makinesiyle çözülemeyen problemlerin insan düşüncesiyle de çözülemeyeceğidir. Bu tezin temeli, insan düşüncesinin (bedenden gelen bir miktar etkiyle) insan beyni tarafından gerçekleştirildiği, insan beyninin (ve bedeninin) madde ve enerji taşıdığı, madde ve enerjinin doğal yasaları izlediği, bu yasaların matematiksel terimlerle ifade edilebildiği, matematiğin de algoritmalarla her kesinlik derecesinde simüle edilebileceğidir. Bu nedenle insan düşüncesini simüle edebilen algoritmalar mevcuttur. Church–Turing tezinin güçlü yorumu, bir insanın düşünebileceği ya da bilebileceği ile hesaplanabilir olan arasında temel bir eşitliği var saymaktadır.

Turing'in çözülemeyen problemlerinin varlığı matematiksel bir kesinlik olsa da Church–Turing tezinin hiçbir biçimde matematiksel bir önerme olmadığına dikkat edilmelidir. Church–Turing tezi, akıl felsefesinin en derin kimi tartışmalarının merkezinde farklı biçimlerde yer alan tahmine dayalı bir varsayımdır.[30]

Church–Turing tezine dayanarak yapılan güçlü yapay zekâ eleştirisinde öne sürülen şudur: Bir bilgisayarın çözebildiği problem tiplerinin sınırları belli olduğuna, insanlar da bu problemleri çözme yeteneğine sahip olduğuna göre makineler insan zekâsının tamamını taklit edemeyecektir. Ancak bu sonucun garantisi yoktur. İnsanların bu tür tüm "çözülemez" problemleri çözme yeteneği makinelerinkinden daha fazla değildir. Belli durumlarda çözümler hakkında bilgiye dayalı tahminlerde bulunabilir, zaman zaman da başarılı olan buluşsal yöntemleri (problemleri çözme-

30 Church–Turing tezinin anlamı üzerine eğlenceli bir anlatım için *bkz*. Douglas R. Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid* (New York: Basic Books, 1979).

ye çalışan ama geçerliliklerinin garantisi olmayan yöntemler) uygulayabiliriz. Ancak, bu yaklaşımların her ikisi de aynı zamanda algoritma tabanlı süreçlerdir, bu da problemleri makinelerin de çözebilmesi demektir. Gerçekten de makineler çoğu zaman çözümleri insanlardan daha hızlı ve ayrıntılı arayabilmektedirler.

Church–Turing tezinin güçlü formülasyonu, biyolojik beyinler ile makinelerin fizik yasalarına eşit derecede tabi olduklarını, bu nedenle de matematiğin ikisini eşit düzeyde modelleyip simüle edebileceğini gösterir. Nöronların modellenip, simüle edilmesi yeteneğini zaten kanıtladık, öyleyse yüz milyar nöronun oluşturduğu bir sistemini neden modelleyip simüle edemeyelim? Böyle bir sistem, insan zekâsıyla aynı karmaşık ve öngörülemezliği sergileyecektir. Aslında, karmaşık ve öngörülemeyen sonuçlar veren ve problemlere zeki çözümler sağlayan bilgisayar algoritmalarımız (örneğin, genetik algoritmalar) şimdiden var. Beyinlerle makinelerin özünde denk olduğunu söyleyen herhangi bir tez varsa, bu Church–Turing tezidir.

Makinelerin buluşsal yöntemleri kullanma yeteneklerini görmek için çözülemeyen problemlerin en ilginç olanlarından birini, 1962'de Tibor Rado'nun oluşturduğu "çalışkan kunduz" problemini ele alın.[31] Her Turing makinesinin iç programının alabileceği belli sayıda durum vardır; bu da iç programında yer alan adım sayısına karşılık gelir. Birkaç farklı 4 durumlu Turing makinesi mümkündür, belli sayıda 5 durumlu makine mümkündür vesaire. "Çalışkan kunduz" probleminde, elde *n* olarak tanımlanmış bir pozitif tam sayı vardır, *n* durumuna sahip tüm Turing makinelerini yaparız. Bu tür makinelerin sayısı daima sonsuz olacaktır. Sonra, bu *n* durumlu makineler arasından sonsuz döngüye girenleri (yani, hiç durmadan çalışanları) ayırırız. En sonunda, şeridinin üzerinde (durmuş olanlar arasından) en çok 1 yazmış olanı seçeriz. Bu makinenin yazdığı 1'lerin adedine *n*'nin çalışkan kunduzu denir. Rado, bu fonksiyonu tüm *n*'ler için hesaplayabilen hiçbir algoritma –yani hiçbir Turing makinesi– bulunmadığını göstermiştir. Problemin en önemli noktası, sonsuz döngüye giren

31 Çalışkan kunduz sorunu, hesaplanamaz fonksiyonların oluşturduğu büyük bir sınıfın içinden Tibor Rado'nun belirttiği bir örnektir: "On Noncomputable Functions," *Bell System Technical Journal* 41.3 (1962): 877–884.

n durumlu makinelerin ayıklanmasıdır. Eğer bir Turing makinesini tüm olası *n* durumlu Turing makinelerini üretmesi ve simüle etmesi için programlarsak, sonsuz bir döngüye giren *n* durumlu bir makineyi simüle etmeye çalıştığında bu simülatörün kendisi de sonsuz bir döngüye girecektir.

Çözülemez bir problem (ve en ünlülerinden biri) olma durumuna karşın, çalışkan kunduz fonksiyonunu bazı *n*'ler için belirleyebiliriz. (İlginç olan, çalışkan kunduzlarını belirleyemeyeceğimiz *n*'leri, belirleyebileceklerimizden ayırmak da çözülemeyen bir problemdir.) Örneğin, 6'nın çalışkan kunduzu kolaylıkla 35 olarak belirlenmektedir. Yedi durum olduğunda, bir Turing makinesi katlanabilmektedir; böylelikle 7'nin çalışkan kunduzu çok daha yüksektir: 22.961. Sekiz durum kullandığında, Turing makinesi üstel değerleri hesaplayabilmektedir, dolayısıyla 8'in çalışkan kunduzu daha da büyüktür: Yaklaşık 10^{43}. Daha büyük *n*'lerin çözümü için daha fazla zekâ gerektirdiğinden, bunun "zeki" bir fonksiyon olduğunu kolaylıkla görebiliriz.

10'a geldiğimizde, bir Turing makinesi insanın (bilgisayardan yardım almadan) izlemesi mümkün olmayan hesaplamaları gerçekleştirebilmektedir. Yani biz 10'un çalışkan kunduzunu yalnızca bilgisayar yardımıyla belirleyebildik. Bunun yanıtı, bir üstel değer yığınından oluşan ilginç bir sayı sisteminin yazılmasını gerektirir. Bu üstel değer yığınının yüksekliği, yüksekliği yine başka bir üstel değer yığınıyla belirlenen bir üstel değer yığınıyla belirlenmektedir ve bu böylece sürer. Bir bilgisayar bu tür karmaşık sayıları takip edebildiği, insan beyni ise takip edemediği için, bilgisayarlar çözülemeyen problemlerin çözümünde insanlardan daha yetenekli olacaklar gibi görünmektedir.

Başarısızlık Oranları Eleştirisi

Jaron Lanier, Thomas Ray ve diğer gözlemcilerin tümü teknolojideki yüksek başarısızlık oranlarının teknolojinin üstel gelişmesinin önünde bir engel olduğundan söz ederler. Örneğin Ray şöyle yazar:

> En karmaşık yaratılarımızın başarısızlık oranları tehlike boyutlarına varmaktadır. Yörüngedeki uydu ve teleskoplar, uzay mekikleri, gezegenlerarası insansız roketler, Pentium

> çipi, bilgisayar işletim sistemleri, bunların hepsi de geleneksel yöntemlerle etkin biçimde tasarlayıp kurabileceklerimizin sınırlarını zorlamaktadır... En karmaşık yazılımımız (işletim sistemleri ile telekomünikasyon kontrol sistemleri) zaten on milyonlarca kod satırı içermektedir. Şu anda yüz milyonlarca ya da milyarlarca kod satırıyla yazılım üretip yönetebilmemiz olası görünmemektedir.[32]

Öncelikle, Ray'in tehlike boyutlarına varan hangi başarısızlık oranlarından söz ettiğini sorabiliriz. Daha önce belirtildiği gibi, çok ileri düzeydeki bilgisayarlı sistemler rutin olarak hastanelerde yoğun bakım ünitelerini izler, uçaklarımızın otomatik olarak kalkıp inmelerini sağlar, ama bunlar hemen hemen hiç arıza yapmazlar. Eğer kaygı yaratan tehlike boyutlarındaki başarısızlık oranlarıysa, bunlar çoğu zaman insan hatasına bağlıdır. Ray, Intel mikroişlemci çipleriyle ilgili sorunlardan söz etmektedir, ancak bu sorunlar son derece küçüktür; hemen hemen hiçbir yan etkiye yol açmamış ve kısa süre içinde düzeltilmişlerdir.

Gördüğümüz gibi bilgisayarlı sistemlerin karmaşıklığı gerçekten de artıyor; ayrıca insan zekâsını taklit etmek için harcadığımız çabaların varacağı en uç nokta da insan beyninde saptadığımız kendiliğinden düzenlenme paradigmalarından yararlanacaktır. İnsan beyni üzerinde ters mühendislik uygulamalarındaki ilerlememizi sürdürdükçe, örüntü tanıma ve yapay zekâ araç kutumuza yeni kendiliğinden düzenlenme yöntemleri ekleyeceğiz. İrdelediğim gibi, kendiliğinden düzenlenme yöntemleri, yönetilemeyen karmaşıklık düzeylerine olan gereksinimimizi azaltacaktır. Daha önce işaret ettiğim gibi insan zekâsını taklit edebilmek için "milyarlarca kod satırı" olan sistemlere ihtiyacımız olmayacaktır.

Ayrıca, mükemmel olmamanın herhangi bir karmaşık sürecin doğal bir özelliği olduğunu belirtmek de önemlidir; bu özellik kuşkusuz insan zekâsı için de geçerlidir.

"Kilitlenme" Eleştirisi

Jaron Lanier ve diğer eleştirmenler, bir "kilitlenme" olasılığından, yapılan çok büyük yatırımlar nedeniyle eski teknolojileri destek-

32 Ray, "Kurzweil's Turing Fallacy."

leyen altyapıların yerlerini yeni teknolojilere bırakmaya direnç gösterdiği bir durumdan söz etmektedirler. Yaygın ve karmaşık destek sistemlerinin ulaşım gibi alanlarda inovasyonun önünü kestiğini, bilgi işlemde gördüğümüz hızlı gelişmenin bu alanlarda görülmediğini öne sürmekteler.[33]

Kilitlenme kavramı, ulaşımda ilerlemenin önündeki başlıca engel değildir. Karmaşık bir destek sisteminin varlığı kaçınılmaz biçimde kilitlenmeye neden olduysa, neden bunun birçok yönden internetin gelişmesini de etkileyen bir olgu olarak görmüyoruz? Ne de olsa internetin çok büyük ve karmaşık bir altyapı gerektirdiği bellidir. Bununla birlikte, üstel olarak büyüyen tam da bilginin işlenmesi ve dolaşımı olduğu için, ulaşım gibi bir alanda platoya ulaşılmasının (yani, S eğrisinin üst kısmında durmasının) bir nedeni, çoğu olmasa bile birçok hedefinin gelişen iletişim teknolojileriyle karşılanmış olmasıdır. Örneğin, benim şirketimde ülkenin farklı yerlerinde bulunan kişiler çalışır; bugüne kadar bir insanın ya da paketin taşınmasını gerektiren birçok gereksinimimiz, Lanier'in de geliştirmek için üzerinde çalıştığı bazı teknolojiler gibi çeşitli iletişim teknolojileri sayesinde artık sanal toplantılarla (belgelerin ve başka fikri yaratıların elektronik dağıtımıyla) karşılanabiliyor. Daha önemlisi, beşinci bölümde irdelediğim gibi, ulaşımda nano teknoloji tabanlı enerji teknolojilerinin sağladığı ilerlemeleri göreceğiz. Ancak sanal gerçekliğin giderek daha gerçekçi, yüksek çözünürlüklü tam kapsamlı biçimlerinin birbiri ardına ortaya çıkışıyla, bir arada bulunma gereksinimlerimiz giderek daha fazla bilgi işlem ve iletişimle karşılanacaktır.

Beşinci bölümde ele aldığım gibi MNT (moleküler nano teknoloji) tabanlı üretimin tam olarak ortaya çıkması, enerji ve ulaşım gibi alanlara ivmelenen getiriler yasasını getirecektir. Hemen hemen bütün ürünleri bilgiyle ve çok ucuz hammaddeyle üretecek duruma geldiğimizde geleneksel olarak yavaş çalışan bu endüstriler de fiyat performansı ve kapasitelerinde bilgi teknolojilerinde görülen türden, yıllık olarak ikiye katlanan artışları görecektir. Enerji ve ulaşım, uygulamada bilgi teknolojilerine dönüşecektir.

Verimli, hafif ve ucuz olduğu gibi enerjinin depolanması ile dağıtımında çok daha güçlü olan yakıt hücreleri ve diğer teknoloji-

33 Lanier, "One Half of a Manifesto."

lerin kullanıldığı nano teknoloji tabanlı güneş panellerinin ortaya çıkışını göreceğiz. Ucuz enerjinin ortaya çıkışıyla ulaşımda dönüşüm sağlanacaktır. Nano mühendislik ürünü güneş hücrelerinden ve diğer yenilenebilir teknolojilerden elde edilerek nano mühendislik ürünü yakıt hücrelerinde depolanan enerji, her ulaşım türü için temiz ve ucuz enerjiyi sağlayacaktır. Buna ek olarak, aygıtlarımızı –farklı büyüklüklerdeki uçuş makinelerimiz dahil– tasarım maliyeti dışında (bu maliyet yalnızca bir kez amortizasyon gerektirir) neredeyse maliyet olmadan üretebileceğiz. Bu sayede, bir paketi yalnızca birkaç saat içinde, taşımacılık şirketlerinin aracılığına gerek olmadan doğrudan size ulaştıracak ucuz uçuş makinelerinin yapımı mümkün olacaktır. Daha büyük ama yine daha ucuz olan taşıt araçları da nano mühendislik ürünü mikro kanatları sayesinde insanları bir yerden bir yere uçuracaktır.

Bilgi teknolojileri daha şimdiden bütün endüstrileri derinden etkilemekte. Birkaç on yıl içinde GNR devrimleri tamamlandığında, bilgi teknolojileri insanın çaba gösterdiği her alanın ayrılmaz bir parçası haline gelecek, böylelikle tüm alanlar ivmelenen getiriler yasasından doğrudan yararlanacaktır.

Ontoloji Eleştirisi: Bir Bilgisayarın Bilinci Olabilir mi?

> Beyni tam olarak kavramadığımızdan, beyni anlamak için sürekli olarak en son teknolojiyi kullanma eğilimindeyiz. Çocukluğumda bize beynin bir telefon santrali olduğu söylenirdi. ("Başka ne olabilirdi ki?") Büyük İngiliz sinirbilimci Sherrington'un beynin bir telgraf sistemi gibi çalıştığını düşündüğünü görmek eğlenceliydi. Freud sıkça beyni hidrolik ve elektromanyetik sistemlerle kıyaslamıştır. Leibniz beyni değirmene benzetmiştir, anlatıldığına göre bazı eski Yunanlılar da beynin çalışmasını mancınığa benzetirlermiş. Bugünün eğretilemesi kuşkusuz sayısal bilgisayardır.
>
> —John R. Searle, "Minds, Brains and Science"

Bir bilgisayarın –biyolojik olmayan zekânın– bilinci olabilir mi? Kuskusuz öncelikle sorunun anlamında uzlaşmamız gerekir. Daha önce irdelediğim gibi, ilk bakışta basit gibi görünebilen bu konu hakkında birbiriyle çelişen görüşler vardır. Bununla birlikte, kav-

ramı nasıl tanımlarsak tanımlayalım, bilincin insan olmanın gerekli olmasa da belirleyici bir özelliği olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir.[34]

Berkeley'deki California Üniversitesinden ünlü felsefeci John Searle, insan bilincinin derin gizemini Ray Kurzweil gibi güçlü yapay zekâya dayanan "indirgemecilerin" önemsizleştirmelerine karşı sağlam biçimde savunduğuna inanan takipçileri arasında çok popülerdir. Searle'ün Çin Odası tezinde övdüğü mantığın totolojik olduğunu her zaman düşünmüş olmakla birlikte, bilincin paradoksları hakkında daha gelişmiş bir inceleme beklemiştim. Onun için Searle'ün yazdığı aşağıdaki gibi ifadeleri şaşkınlıkla karşılıyorum:

> "İnsan beyinleri, beyinde yer alan belirli bir dizi nörobiyolojik süreçlerle bilince neden olurlar";

> "Önemli olan bilincin, sindirim, anne sütü üretmek, fotosentez ya da mitoz gibi biyolojik bir süreç olduğunu görebilmektir";

> "Beyin bir makinedir, tam olarak da biyolojik bir makine, ama sonuçta yine de bir makinedir. Bu nedenle ilk adım beynin bunu nasıl başardığının anlaşılması, sonra da bilincin oluşturulması için aynı etkili düzeneğe sahip yapay bir makinenin yapılmasıdır" ve

> "Beynin belirli biyolojik mekanizmalarla bilince neden olduğunu biliyoruz."[35]

Peki, burada indirgemeci olan kim? Belli ki Searle bir başka varlığın öznelliğini fotosentez sürecinde üretilen oksijeni ölçtüğümüz kadar kolaylıkla ölçebileceğimizi ummaktadır.

Searle benim sık sık "bilgisayarın üstün zekâsının kanıtı olarak IBM'in Deep Blue'sunu gösterdiğimi" yazmaktadır. Kuşkusuz bunun tersi söz konusudur: Deep Blue'yu satranç konusunu abartılı biçimde vurgulamak amacıyla değil, insan ile çağdaş makine-

34 Uykuda veya komada olmayan, bilinçli olacak kadar gelişmiş (yani beynin gelişmesi evresinde gelmemiş bir fetüs değil) bir insan.

35 John R. Searle, "I Married a Computer," Richards vd, *Are We Spiritual Machines*? içinde.

nin oyuna yaklaşımları arasında gösterdiği net zıtlığı incelemek için ele alıyorum. Ancak daha önce işaret ettiğim gibi, satranç programlarının örüntü tanıma yetenekleri artmakta, bu sayede satranç makineleri geleneksel makine zekâsının analitik gücünü giderek daha fazla insan benzeri örüntü tanıma yeteneğiyle birleştirmeye başlamakta. İnsan paradigması (kendiliğinden düzenlenen kaotik süreçlerde) çok temel avantajlar sağlamaktadır: Son derece incelikli örüntüleri tanıyıp tepki verebiliyoruz. Ancak aynı yeteneklere sahip makineler de yapabiliriz. Bu, uzun süredir benim teknik ilgi alanımdır.

Searle, en çok Çin Odası analojisiyle tanınır, yirmi yıllık süre içinde bunun çeşitli biçimlerini ortaya koymuştur. Bu analojinin daha tam tanımlarından biri, Searle'ün 1992'de yayımladığı kitabı, *The Rediscovery of the Mind*'da yer alır:

> Güçlü yapay zekâya karşı en çok bilenen tezin, benim Çin Odası tezim olduğuna inanıyorum. Bu, bir sistemin, örneğin o sistemin hiçbir biçimde Çince anlama kapasitesi olmasa da Çince anlama becerisi gibi insana ait bazı bilişsel becerilerinin mükemmel simülasyonunu veren bir programı örnekleyebileceğini gösteren bir tezdir. Çince tek bir sözcük bile bilmeyen birinin birçok Çince simge ve sorulan soruların Çince yanıtlanacağı bir program çalıştıran bir bilgisayarın bulunduğu bir odaya kapatıldığını düşünün. Sistemin girdileri Çince simgelerden oluşan sorulardır, çıktıları ise bu soruların Çince simgelerden oluşan yanıtlarıdır. Programın, sorulara verilen yanıtların ana dili Çince olan birisinin vereceği yanıtlardan ayırt edilemeyeceği kadar iyi olduğunu varsayabiliriz. Ama yine de ne odadaki kişi ne de sistemin diğer parçaları gerçek anlamda Çince bilmez; programlanmış bilgisayarda olup da sistemde olmayan hiçbir şey olmadığından, programlanmış bilgisayar da, bilgisayar olarak, Çince anlamaz. Program bütünüyle biçimsel ve sözdizimsel olduğu ve akıllar zihinsel ya da anlamsal içeriğe sahip olduğundan, yalnızca bilgisayar programlarıyla bir aklın üretilmesi için gösterilen her tür çaba, aklın temel özelliklerini dışlayacaktır.[36]

36 John R. Searle, *The Rediscovery of the Mind* (Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1992).

Searle'ün tanımları, ya beyin süreçlerinin ya da beyin süreçlerini kopyalayabilecek biyolojik olmayan süreçlerin değerlendirilmesinde bir eksikliği betimlemektedir. İşe, ne de olsa "yalnızca bir bilgisayar olduğu" için odadaki "adamın" hiçbir şey anlamadığı varsayımıyla başlayarak kendi önyargısına ışık tutar. Bunun ardından Searle, (adamın kullandığı) bilgisayarın anlamadığı sonucuna varır, bu da şaşırtıcı değildir. Searle bu totolojiyi temel bir çelişmeyle birleştirir: Bilgisayar Çince anlamamakla birlikte (Searle'e göre) Çince soruları inandırıcı biçimde yanıtlayabilmektedir. Ancak eğer bir varlık –biyolojik ya da diğer türden– insanların konuştuğu dili gerçekten anlamıyorsa, konuşmaya katılan yetkin birisi tarafından maskesi kolaylıkla düşürülebilir. Ayrıca, inandırıcı yanıtlar verebilmesi için programın bir insan beyni kadar karmaşık olması gerekir. Odadaki adam milyonlarca yıl harcayarak milyonlarca sayfalık programı uygulamaya çalışırken, gözlemciler çoktan ölmüş olacaklardır.

En önemlisi, adam yalnızca bir merkezi işleme birimi, sistemin küçük bir parçası olarak davranmaktadır. Adam görmese de anlama işlemi, programın örüntüsünün ve programı uygulayabilmek için alması gereken milyarlarca notun tamamına yayılmıştır. *Ben İngilizce anlıyorum ancak nöronlarımın hiçbiri anlamıyor.* Benim anlama yetim kendini nöro-ileticilerin gücü, sinaptik yarıklar ve hücrelerarası bağlantıların oluşturduğu engin örüntülerde göstermektedir. Searle, yayılmış bilgi örüntülerinin ve bu örüntülerin ortaya çıkan özelliklerinin önemini açıklamakta yetersiz kalmaktadır.

Searle ve temelde maddeci olan diğer felsefecilerden zeki makinelerin geleceği konusunda dinlediğimiz eleştirilerin çoğu bilgi işlem süreçlerinin –tıpkı insan beyni gibi– kaotik, öngörülemez, dağınık, geçici, ortaya çıkmaya yatkın olduklarını görememekten kaynaklanır. Searle kaçınılmaz olarak "simgesel" bilgi işlem eleştirisine döner: Düzenli dizilimli simgesel süreçler gerçek düşünceyi yeniden yaratamaz. Bunun (kuşkusuz zeki bir süreci hangi düzeyde modellediğimize bağlı olarak) doğru olduğunu düşünüyorum, ancak simgelerin (Searle'ün belirttiği anlamda) değiştirilmesi, makinelerin ya da bilgisayarların yapılmasının tek yolu değildir.

Bilgisayar olarak adlandırılanlar (sorunun bir parçası da "bilgisayar" sözcüğüdür, çünkü makineler "saymaktan" fazlasını

yapabilir), simgesel süreçlerle sınırlı değildir. Biyolojik olmayan varlıklar da yeni özelliklerin ortaya çıktığı kendiliğinden düzenlenme paradigmasını kullanabilmekteler; bu, epeyce yolun kat edildiği bir eğilimdir, önümüzdeki birkaç on yıl içinde daha da önem kazanacaktır. Bilgisayarların yalnızca 0 ve 1 kullanmaları, hatta tamamen sayısal olmaları bile şart değildir. Bir bilgisayar tamamen sayısal bile olsa, sayısal algoritmalar analog süreçleri her kesinlik derecesinde (ya da kesinliği olmadan) simüle edebilir. Makineler, yoğun paralel olabilir. Makineler, kaotik yeni teknikleri de tıpkı beyin gibi kullanabilir.

Örüntü tanıma sistemlerinde kullandığımız temel bilgi işleme teknikleri simgelerin değiştirilip yönetilmesini değil, onun yerine beşinci bölümde betimlenenler gibi kendiliğinden düzenlenme yöntemlerini kullanır (nöron ağları, Markov modelleri, genetik algoritmalar ve beyinde ters mühendislik uygulamalarından kaynaklanan daha karmaşık paradigmalar). Searle'ün Çin Odası tezinde betimlediği şeyi gerçekten yapabilen bir makine doğrudan dilin simgelerini işlemeyecek, çünkü bu yaklaşım sonuç vermeyecektir. Bu, Çin Odasının temelinde yatan felsefi hünerin özünü oluşturur. Bilgi işlemin doğası mantıksal simgelerin işlenmesiyle sınırlı değildir. İnsan beyninde olup biten bir şeyler vardır, bu biyolojik süreçler üzerinde ters mühendislik uygulamalarının yürütülmesini ve biyolojik olmayan varlıklara kopyalanmasını engelleyen bir şey yoktur.

Taraftarları Searle'ün Çin Odası tezinin makinelerin (yani biyolojik olmayan varlıkların) Çince gibi önemli şeyleri hiçbir zaman gerçekten anlayamayacaklarını kanıtladığına inanır gibidirler. Bu sistemin Searle'ün ileri sürdüğü gibi "Çince anlama becerisi gibi insana ait bazı bilişsel becerilerin mükemmel simülasyonunu" verebilmesi ve soruları inandırıcı biçimde Çince olarak yanıtlayabilmesi için öncelikle Çince Turing testini geçmesi gerektiğini anlamak önemlidir. Önceden belirlenmiş sorulardan oluşan bir listeden söz etmediğimizi (çünkü bu önemsiz bir iştir), burada söz konusu olanın bilgi sahibi bir sorgulayıcıdan gelen beklenmedik soruların ya da soru dizilerinin yanıtlanması olduğunu unutmayın.

Çin Odasındaki insanın önemi çok azdır ya da hiç yoktur. Yalnızca bilgisayara girdileri vermekte, çıktıları da mekanik olarak

iletmektedir (ya da alternatif olarak yalnızca programın kurallarını uygulamaktadır). Üstelik bilgisayarın ya da insanın odada bulunmasına gerek yoktur. Searle'ün, programı doğrudan adamın uyguladığını anıştıran betimlemesi sistemi gerçek zamandan çok daha yavaş ve hatalara son derece açık hale getirmekten başka bir şeyi değiştirmez. *Ne insanın ne de odanın konuyla ilgisi vardır.* Burada önemi olan tek şey bilgisayardır (ya elektronik bir bilgisayar ya da programı uygulayan kişiyi kapsayan bilgisayar).

Bilgisayarın bu "mükemmel simülasyonu" gerçekten yürütebilmesi için gerçekten de Çince anlaması gerekirdi. Bu varsayıma göre, "Çince anlama kapasitesine" sahiptir, bu nedenle de "Programlanan bilgisayar ... Çince anlamamaktadır," ifadesi bütünüyle çelişkilidir.

Bugün bildiğimiz biçimleriyle bir bilgisayar ile bir bilgisayar programı, betimlenen görevi başarıyla yürütemezdi. Yani, bu bilgisayarın günümüzün bilgisayarları gibi olduğunu düşünürsek, o zaman bu varsayımı karşılayamayacaktır. Bunu yapabilmesinin tek yolu bir insanın derinliğine ve karmaşıklığına sahip olmasıdır. Testini ortaya koyarken Turing'in parlak içgörüsü, zeki bir insanın, insanların kullandığı bir dilde sorduğu herhangi bir soru dizisine inandırıcı yanıtlar vermenin, gerçekten de insan zihninin tümüyle sondalanmasını gerektirdiğiydi. Bunu başarabilecek yeteneği olan bir bilgisayarın –bundan birkaç on yıl sonra var olacak bilgisayarın– insanın karmaşıklığına ya da daha fazla karmaşıklığa sahip olması gerekecek ve bu bilgisayar gerçekten de Çinceyi derinlemesine anlayacaktır; çünkü aksi durumda anladığı iddiası hiçbir zaman inandırıcı olmayacaktır.

Tezin dayandığı varsayımla tümden çelişeceği için, bu durumda yalnızca bilgisayarın "Çinceyi tam anlamadığını" söylemenin anlamı yoktur. Bilgisayarın bilincinin olmadığını söylemek de güçlü bir sav değildir. Searle'ün başka birtakım ifadeleriyle tutarlı olmak gerekirse, bilinçli olup olmadığını gerçekten bilmediğimiz sonucunu çıkarmamız gerekir. Günümüzün bilgisayarları dahil görece basit makineler söz konusu olduğunda, bu varlıkların bilinçlerinin olmadığını kesin olarak söyleyemesek de davranışları ile iç işleyişleri bilinçli oldukları izlenimini de vermez. Ancak bu, Çin Odasında gereksinilen işi gerçekten yapabilecek bir bilgi-

sayar için geçerli olmayacaktır. Bilincinin olup olmadığını kesin olarak söyleyemesek bile böyle bir makine en azından bilinci var *gibi görünecektir.* Ancak yalnızca bilgisayarın (ya da bilgisayar, insan ve odadan oluşan tüm sistemin) bilincinin olmadığının açık olduğunu söylemek, güçlü bir sav olmaktan çok uzaktır.

Yukarıda verilen alıntıda Searle, programın "bütünüyle biçimsel ve sözdizimsel" olduğunu söyler. Ancak daha önce de belirttiğim gibi bu, Searle'ün böyle bir teknolojinin gereksinimlerini açıklamakta yetersiz kalması nedeniyle kötü bir varsayımdır. Bu varsayım, Searle'ün yapay zekâya yönelik çoğu eleştirisinin ardında yatmaktadır. Bütünüyle biçimsel ya da sözdizimsel olan bir program Çince anlayamayacak, "insana ait bazı bilişsel becerilerinin mükemmel simülasyonunu" vermeyecektir.

Ancak bir kez daha, makinelerimizi bu biçimde yapmamız şart değildir. Makinelerimizi, doğanın insan beynini yaptığı gibi yapabiliriz: Yoğun paralel, kaotik yeni yöntemleri kullanarak. Dahası, makine kavramında, makinenin uzmanlığını yalnızca sözdizimi düzeyiyle kısıtlayıp, anlambilimi öğrenmesini engelleyen doğal bir özellik yoktur. Aslında, eğer Searle'ün Çin Odası tasarımındaki makine, anlambilimi öğrenmemiş olsaydı, Çince sorulan soruları inandırıcı biçimde yanıtlayamayacak, dolayısıyla da Searle'ün kendi varsayımıyla çelişecekti.

Dördüncü bölümde insan beyni üzerinde ters mühendislik uygulamalarını ve bu yöntemlerin bilgi işlem platformlarına yeterince güçlü biçimde uygulanması için sürdürülen çabaları ele aldım. Eğer, insan beynine yaptığımız gibi, bir bilgisayara Çince öğretirsek, Çince anlayacaktır. Bu, tartışma götürmez bir ifade gibi durabilir, ancak Searle'ün karşı çıktığı bir ifadedir. Searle'ün kendi terminolojisini kullanmak gerekirse, tam olarak bir simülasyondan değil, daha çok beyni oluşturan çok sayıdaki nöron kümelerinin nedensel yeteneklerinin, en azından düşünmeyle ilgili belirgin nedensel yeteneklerin, kopyalanarak çoğaltılmasından söz ediyorum.

Böyle bir kopyanın bilinci olur mu? Çin Odasının bize bu soru hakkında herhangi bir şey anlattığını sanmıyorum.

Searle'ün Çin Odası tezinin doğrudan insan beynine uygulanabilirliğine de işaret etmek gerekir. Kuşkusuz Searle bunu kastedi-

yor olmasa da ortaya koyduğu mantık zincirinden insan beyninin anlama yeteneği olmadığı çıkarılabilir. Searle şöyle yazar: "Bilgisayar ... biçimsel simgeleri yöneterek başarılı olur. Simgelerin kendileri oldukça anlamsızdır: Yalnızca onlara yüklediğimiz anlamları taşırlar. Bilgisayar bunu bilmez, yalnızca simgeleri karıştırarak düzenler." Searle, biyolojik nöronların makineler olduğunu kabul etmektedir, yani "insan beyni" ifadesi yerine "bilgisayar," "nöro-iletici yoğunluğu ve ilgili düzenekler" yerine de "biçimsel simgeler" koyarsak, şunu elde ederiz:

> [İnsan beyni] ... [nöro-iletici yoğunluğu ve ilgili düzenekleri] yöneterek başarılı olur. [Nöro-iletici yoğunluğu ve ilgili düzeneklerin] kendileri oldukça anlamsızdır: Yalnızca onlara yüklediğimiz anlamları taşırlar. [İnsan beyni] bunu bilmez, yalnızca [nöro-iletici yoğunluğu ve ilgili düzenekleri] karıştırarak düzenler.

Nöro-iletici yoğunluğu ve sinirlerle ilgili diğer ayrıntılar (örneğin, hücrelerarası bağlantılar ile nöro-iletici örüntüleri) tabii ki kendilerinde anlam taşımaz, kendilerinden anlam üretmezler. İnsan beyninde oluşan anlam ve anlama, tam olarak karmaşık etkinlik örüntüleriyle *ortaya çıkan* bir özelliktir. Aynı şey makineler için de geçerlidir. Her ne kadar "simgeleri karıştırarak düzenlemek" bir anlam taşımasa ve üretmese de, ortaya çıkan özellikler biyolojik olmayan sistemlerde de tıpkı beyin gibi biyolojik sistemlerde barındırdıkları potansiyel rolün aynısını barındırırlar. Hans Moravec, "Searle anlamayı yanlış yerlerde arıyor... Görünüşe bakılırsa, gerçek anlamın salt örüntülerde var olabileceğini kabul edemiyor," der.[37] Gelin, Çin Odasının ikinci bir örneğini ele alalım. Bu tasarımda odada bir bilgisayar ya da bilgisayarı simüle eden bir adam yoktur; üzerlerinde Çince simgeler yazılı kâğıtları yöneten bir oda dolusu insan –temelde, bir bilgisayarı simüle eden birçok insan– vardır. Bu sistem Çince soruları inandırıcı biçimde yanıtlayacaktır, ancak katılımcıların hiçbiri Çince bilmeyecektir, ayrıca sistemin bütününün Çince bildiğini –en azından bilinçli olarak bildiğini– de söyleyemeyiz. Searle aslında bu "sistemin" bi-

37 Hans Moravec, Editöre Mektup, *New York Review of Books*, http://www.kurzweiltech.com/Searle/searle_response_letter.htm.

linçli olabileceği düşüncesiyle dalga geçmektedir. Neyin bilinçli olduğunu düşüneceğiz diye sormaktadır: Kâğıt parçalarının mı? Odanın mı?

Çin Odası tezinin bu örneğindeki sorunlardan biri, Çince sorulan soruların yanıtlanması gibi belirli bir sorunu çözmeye biraz olsun yaklaşmamasıdır. Daha çok, soruların yanıtlanması için bir başvuru çizelgesinin eşdeğerini, belki de birtakım basit mantık yönlendirmeleriyle kullanan mekanik bir sürecin betimlemesidir. Önceden kaydedilmiş sınırlı sayıda soruyu yanıtlayabilecek ama keyfi olarak sorulacak *herhangi bir* soruyu yanıtlayabilmesi için Çince bilen bir insan kadar Çince anlaması gerekecektir. Aynı biçimde, temelde istenen, bir Çince Turing testini geçmesidir, bu durumda da insan beyni kadar akıllı, benzer derecede karmaşık olması gerekecektir. Basit başvuru çizelgesi algoritmaları bunu hiçbir biçimde başaramayacaktır.

Eğer Çince anlayan bir beyni yeniden yaratmak ister, bunun için de insanları küçük çarklar gibi kullanırsak, insan beyninin süreçlerini simüle etmek için (aslında insanlar, insan beyninin yöntemlerini simüle eden bir bilgisayarı simüle edeceklerdir) milyarlarca insana gereksinimimiz olacaktır. Bu, gerçekten de oldukça büyük bir oda gerektirecektir. Son derece iyi düzenlenmiş bile olsa, bu sistem yeniden yaratma çabasında olduğu Çince konuşan beyinden binlerce kez daha yavaş çalışacaktır.

Bu milyarlarca insandan herhangi birinin Çince bilmesi gerekmediği doğrudur; herhangi birinin de bu ayrıntılı sistemde olup biteni mutlaka bilmesi beklenmeyecektir. Ancak bu, gerçek bir insan beynindeki hücrelerarası bağlantılar için de aynı ölçüde geçerlidir. Beynimdeki yüz trilyon bağlantıdan hiçbiri yazmakta olduğum bu kitap hakkında bir şey bilmez, İngilizce de bilmez, benim bildiğim diğer şeyleri de bilmez. İçlerinden hiçbiri bu kitabın farkında değildir, benim farkında olduğum diğer şeylerin de farkında değildir. Büyük olasılıkla hiçbirinin bilinci de yoktur. Ancak sistemin bütününün –yani Ray Kurzweil'ın– bilinci vardır. En azından ben bilincim olduğunu iddia ediyorum (bugüne kadar da kimse bu iddiayı sorgulamadı).

Dolayısıyla, Searle'ün Çin Odasını olması gereken o büyük "oda" olarak düşünürsek, Çince bilen bir bilgisayarı simüle eden

milyarlarca insandan oluşan sistemin bütününün bilincinin olmadığını kim söyleyebilir? Böyle bir sistemin Çince bildiğini söylemek tabii ki doğru olacaktır. Sistemin bilincinin olmadığını söylememiz de ancak herhangi bir başka beyin sürecinin bilincinin olmadığını söylememiz kadar mümkündür. Başka bir varlığın öznel deneyimini bilemeyiz (Searle de en azından diğer yazılarında bu sınırlamayı kabul eder gibi görünmektedir). Bu çok büyük, birkaç milyar insanı barındıran "oda" da bir varlıktır. Belki de bilinci vardır. Buradan yola çıkarak Searle, yalnızca sistemin bilincinin olmadığını, bu sonucun da açıkça görülebildiğini ileri sürmektedir. Oda olarak adlandırıp, az sayıdaki kâğıtları yöneten sınırlı sayıdaki insandan söz ettiğinizde bu böyle görünebilir. Ancak, dediğim gibi böyle bir sistem biraz olsun işlemez.

Çin Odası tezinde saklı felsefi karışıklığın bir diğer yönü de özellikle sistemin karmaşıklığı ve ölçeğiyle ilişkilidir. Searle, daktilosunun ya da ses kayıt aygıtının bilincinin olmadığını kanıtlayamayacağını söylemekle birlikte, bilinçlerinin olmadığının belli olduğunu düşünür. Nasıl böylesine belli olabilir? En az bir neden, daktilo ile ses kayıt aygıtının görece basit varlıklar olmalarıdır.

Ama bilincin varlığı ya da eksikliği, insan beyni kadar karmaşık bir sistemde –aslında, insan beyninin örgütlenmesinin ve "nedensel güçlerinin" doğrudan kopyası olabilecek bir sistemde– o kadar belli değildir. Eğer böyle bir "sistem" insan gibi davranır, insan gibi Çince bilirse bilinçli mi olacaktır? Artık yanıt o kadar açıkça belli değildir. Searle'ün Çin Odası tezinde söylediği, basit bir "makineyi" alıp, böylesine basit bir makinenin bilincinin olduğunu düşünmenin ne kadar saçma olduğunu düşündüğümüzdür. Yanılgı bütünüyle sistemin boyutu ve karmaşıklığıyla ilgilidir. Tek başına karmaşıklık bize mutlaka bilinç kazandırmayacaktır; ancak Çin Odası bize böyle bir sistemin bilincinin olup olmadığı hakkında hiçbir şey söylemez.

Kurzweil'ın Çin Odası. Benim kendi Çin Odası tasarımım var, buna Ray Kurzweil'ın Çin Odası diyelim.

Düşünce deneyimde bir odada bir insan vardır. Oda, Ming hanedanı tarzında döşenmiştir, odada üzerinde mekanik bir daktilonun durduğu bir kaide de vardır. Daktilonun tuşları, İngilizce

harfler yerine Çince simgeleri göstermek üzere değiştirilmiştir. Mekanik bağlantılar ise akıllıca bir biçimde değiştirilerek, odadaki insan Çince bir soru yazdığında daktilonun soruyu değil, o sorunun yanıtını yazacağı biçimde değiştirilmiştir. Sonra bu kişiye Çince harflerle yazılmış sorular verilir, kişi dikkat ve özenle daktilonun ilgili tuşlarına basar. Daktilo, soruyu değil doğru yanıtı yazar. İşini tamamladığında kişi yanıtı odanın dışına iletir.

Burada, bir oda, odanın içinde de dışarıdan Çince bilir gibi görünen ama aslında bilmediği açıkça belli bir insan vardır. Daktilonun da Çince bilmediği bellidir. Bu yalnızca mekanik bağlantıları değiştirilmiş sıradan bir daktilodur. Bu durumda, odadaki insanın Çince soruları yanıtlayabilmesine karşın aslında kimin ya da neyin Çince bildiğini söyleyebiliriz? Odadaki süslemelerin mi?

Benim Çin Odası tezime karşı çıktığınız noktalar olabilir.

Odadaki süslemelerin hiçbir öneminin olmadığı gibi göründüğüne işaret edebilirsiniz..

Evet, bu doğrudur. Kaidenin de önemi yoktur. Aynı şey o insan ve oda için de söylenebilir.

Ayrıca, mekânın saçma olduğunu da vurgulamak isteyebilirsiniz. Yalnızca bir mekanik daktilonun mekanik bağlantılarının değiştirilmesi, (Çincede bulunan binlerce karakter simgeyi bir daktilo klavyesine sığdıramayacağımız bir yana) *o daktilonun Çince soruları inandırıcı biçimde yanıtlamasını sağlayamayacaktır.*

Evet, bu da geçerli bir itirazdır. Benim Çin Odası tasarımım ile Searle'ün önerdiği birkaç tasarım arasındaki tek fark, benim tasarımımda bunun işlemeyeceğinin net olarak belli olması, doğası gereği saçma olmasıdır. Searle'ün Çin Odaları söz konusu olduğunda ise bu, okurlar ya da dinleyicilere o kadar belli gelmeyebilir. Ancak sonuç aynıdır.

Ne var ki tıpkı Searle'ün tasarımlarının işlerliğini sağlayabildiğimiz gibi benim tasarımımın işlerliğini sağlamak da yine mümkündür. Yapılması gereken yalnızca daktilonun bağlantılarının bir insan beyninin bağlantıları kadar karmaşık kurulmasıdır. Bu da (uygulamada olmasa da) kuramsal olarak mümkündür. Ancak "daktilo bağlantıları" ifadesi pek büyük bir karmaşıklığı ifade etmez. Aynısı Searle'ün, bir insanın kâğıt parçalarını yönetmesi

ya da bir dizi kuralı ya da bir bilgisayar programını uygulaması olarak betimlediği durumlar için de söylenebilir. Tüm bunlar aynı derecede yanıltıcı tasarımlardır.

Searle şöyle yazar: "Gerçek insan beyni, beyinde yer alan belirli bir dizi nörobiyolojik süreçlerle bilinci oluşturur." Ancak böylesine şaşırtıcı bir görüşü destekleyen temel yine de ortaya konulmuş değildir. Searle'ün bakış açısına ışık tutmak için, bana gönderdiği bir mektuptan bir bölümü aktarıyorum:

> *Akkarıncalar ya da salyangozlar gibi görece basit organizmaların da bilince sahip olduklarını keşfedebiliriz... Önemli olan bilincin, sindirim, laktasyon, fotosentez ya da mitoz gibi biyolojik bir süreç olduğunu görebilmektir; bilincin kendine özgü biyolojisi de tıpkı bu diğer süreçlerin kendilerine özgü biyolojilerinin ele alındığı gibi ele alınmalıdır.*[38]

Bunu şöyle yanıtladım:

> *Evet, bilincin, beyin ile bedenin biyolojik süreç(ler)inden oluştuğu doğrudur, ancak aralarında en azından bir fark vardır. "Belirli bir varlığın karbondioksit üretip üretmediğini" sorgularsam, bu soruyu net ve nesnel ölçümle yanıtlayabilirim. Ancak eğer "bu varlığın bilincinin olup olmadığını" sorgularsam, kanıtlara ve akılcı düşünceye dayanarak –ve büyük olasılıkla güçlü ve inandırıcı olan– çıkarımsal tezler ortaya koyabilirim; ama bunlar net ve nesnel ölçümler olmaz.*

Salyangoz içinse şöyle yazdım:

> *Bir salyangozun bilincinin olabileceğini söylediğinizde, sanırım söylemek istediğiniz, insanlarda bilincin belli bir nörofizyolojik temeli olduğunu (buna "x" diyelim) keşfedebileceğimiz ve bu temelin insanlarda var olduğu durumda insanların bilincinin olduğu, var olmadığı durumda ise insanların bilincinin olmadığıdır. Böylece, bir olasılıkla, elimizde bilinci nesnel olarak ölçebilecek bir temel olabilecektir. Eğer*

38 John Searle'den Ray Kurzweil'e, 15 Aralık 1998.

bu temelin salyangozda var olduğunu görseydik salyangozun bilinci olduğu sonucunu çıkarabilirdik. Ancak bu çıkarımsal sonuç yalnızca güçlü bir önermedir, salyangozun yaşadığı öznel bir deneyimin kanıtı değil. İnsanların bilincinin olmasının nedeni, x'e sahip olmalarının yanı sıra özünde tüm insanlarda ortak olarak bulunan başka birtakım özelliklere sahip olmaları olabilir; biz bu özelliklere "y" diyelim. "y" bir insanın karmaşıklık düzeyine bağlı olabilir, bizi oluşturan düzenle ilgili olabilir, (bu, x'in bir parçası olabilse de) mikrotübüllerimizin kuantum özellikleriyle ilgili olabilir ya da tümden başka bir şeyle ilgili olabilir. Salyangoz x'e sahip olup, y'ye sahip değilse salyangozun bilinci olmayabilir.

Böyle bir tartışmada nasıl sonuca varılabilir? Salyangozun kendisine sorulamayacağı açıktır. Soruyu sormanın bir yolunu bulsak ve salyangoz da evet yanıtını verse bile, bu onun bilincinin olduğunu göstermez. Bu onun oldukça basit ve az çok öngörülebilir davranışından anlaşılamaz. X'e sahip olduğuna işaret etmek iyi bir iddia olabilir, birçok kişiye göre inandırıcı da olabilir. Ama bu yalnızca bir iddiadır, salyangozun öznel deneyiminin doğrudan ölçümü değildir. Bir kez daha, nesnel ölçüm öznel deneyim kavramıyla bağdaşmaz.

Bugün –salyangozlardan daha çok, daha karmaşık düzeydeki hayvanlar için olsa da– bu türden çeşitli iddialar ortaya konmaktadır. Bence köpek ve kedilerin bilince sahip oldukları açıktır (Searle de bunu kabul ettiğini söylemiştir). Ancak insanların hepsi bunu kabul etmez. Bu hayvanlarla insanlar arasındaki benzerliklere işaret ederek bu görüşü güçlendirecek bilimsel yollar tasarlayabilirim; ancak bunlar yine yalnızca iddialar olacak, bilimsel kanıt oluşturmayacaktır.

Searle, bilincin açık biyolojik "nedenlerini" bulmayı umar, anlamanın ya da bilincin etkinlik örüntüsünün bütününden kaynaklandığını kabullenemez gibi görünmektedir. Daniel Dennett gibi diğer düşünürler ise bu tür, bilincin "örüntüden kaynaklandığını" savunan kuramları dile getirmişlerdir. Ancak, "nedeni" ister belirli biyolojik süreçler olsun ister etkinlik örüntüleri, Searle bilinci nasıl ölçeceğimiz ya da saptayacağımızın dayandığı herhangi bir temeli ortaya koymaz. İnsanlarda bilincin nörolojik bağlantısının

saptanması bilincin diğer varlıklarda da mutlaka aynı bağlantılarla var olacağını kanıtlamaz; diğer yandan böyle bir bağlantının yokluğu da bilincin var olmadığını kanıtlamaz. Bu tür çıkarımsal iddialar mutlaka doğrudan ölçüm sonucuna varmaz. Böylelikle bilinçlilik, laktasyon ve fotosentez gibi nesnel olarak ölçülebilir süreçlerden ayrılır.

Dördüncü bölümde irdelediğim gibi, yalnızca insanlarda ve diğer bazı primatlarda bulunan bir biyolojik özelliği keşfettik: İğsi hücreler. Dallanarak derin bölgelere kadar uzanmalarını sağlayan yapıları nedeniyle bu hücreler bilinçli tepkilerimizle yoğun biçimde ilişkili gibi görünmektedir. İğsi hücreler, insan bilincinin nörofizyolojik temeli olan "x" midir? Bunun kanıtlanması nasıl bir deneyle mümkündür? Kedi ve köpeklerde iğsi hücre yoktur. Bu, onların bilinçli deneyim yaşamadıklarını kanıtlar mı?

Searle şöyle yazar: "Salt nörobiyolojik nedenlerle, sandalyenin ya da bilgisayarın bilinci olduğunu varsaymak olanaksızdır." Sandalyelerin bilinçli gibi görünmediği konusuna katılıyorum ancak insanlarla aynı karmaşık, derinlik, incelik ve yeteneklere sahip geleceğin bilgisayarları söz konusu olduğunda bu olasılığı göz ardı edebileceğimizi sanmıyorum. Searle yalnızca bilinçli olmadıklarını, bunun dışında bir olasılığın varsayılmasının da "söz konusu olmadığını" kabul etmektedir. Searle'ün "tezlerinde" bu totolojinin ötesinde, elle tutulur nitelikte hiçbir şey yoktur.

Searle'ün, bir bilgisayarın bilincinin olması olasılığına karşı duruşu kısmen bugün bildiğimiz bilgisayarların bilinçsiz gibi görünmelerine dayanır. Davranışları kırılgan, formüle dayalı, hatta zaman zaman öngörülemezdir. Ancak yukarıda işaret ettiğim gibi, bugün bilgisayarlar insan beyninden bir milyon kat daha basittir, bu da insan düşüncesinin sevimli yönlerinin tümüne sahip olmamalarının nedenlerinden yalnızca biridir. Ancak aradaki bu fark hızla azalmaktadır, sonunda da birkaç on yıl içinde tersine dönecektir. Yirmi birinci yüzyılın ilk yıllarının bu kitapta sözünü ettiğim makineleri, günümüzün görece basit bilgisayarlarından çok farklı görünecek ve davranacaklardır.

Searle, biyolojik olmayan varlıkların yalnızca mantık simgelerini yönetebildikleri görüşünü dile getirmekte, diğer paradigmalardan habersiz görünmektedir. Kurala dayalı uzman sistemler

ile oyun programlarının işleme biçimlerinin büyük oranda simgelerin yönetilmesine dayandığı doğrudur. Ancak şu anki eğilim farklı bir yöne, insan beyni olarak adlandırdığımız yüzlerce nöron kümesi üzerinde uygulanan ters mühendislik işlemlerinden doğrudan türetilmiş süreçler gibi biyolojiden esinlenen yöntemleri kullanan, kendiliğinden düzenlenen kaotik sistemlere doğrudur.

Searle, biyolojik nöronların makineler olduğunu kabul eder; gerçekten de beynin tamamı bir makinedir. Dördüncü bölümde irdelediğim gibi, daha şimdiden her bir nöronun olduğu gibi, önemli sayıdaki nöron kümelerinin "nedensel güçlerini" son derece ayrıntılı biçimde yeniden oluşturduk. Bu çabaları insan beyninin tamamına yayacak biçimde genişletmenin önünde herhangi bir kavramsal engel yoktur.

Varsıl–Yoksul Ayrımı Eleştirisi

Jaron Lanier ve diğerleri tarafından dile getirilen bir diğer kaygı da bu teknolojiler sayesinde varsılların insanlığın geri kalanının elde edemeyeceği belli avantajlar ve fırsatlar elde etme olasılığıdır.[39] Böylesine bir eşitsizlik kuşkusuz yeni bir şey olmayacaktır, ancak bu konuda, ivmelenen getiriler yasasının önemli ve yararlı etkisi vardır. Fiyat performansının süregelen üstel artışı sayesinde tüm bu teknolojiler kısa sürede ucuzlayacak, neredeyse bedava olacaktır.

Daha birkaç yıl öncesine kadar olmayıp, bugün ağ üzerinde ücretsiz bulunabilen yüksek nitelikli onca bilgiyi ele alın. Bugün dünyanın yalnızca küçük bir bölümünün ağ erişimi olduğu vurgulanmak istenirse, ağda yaşanan patlamanın hâlâ emekleme evresinde olduğu, erişim oranının üstel olarak büyüdüğü unutulmamalıdır. Ağ erişimi Afrika'nın en yoksul ülkelerinde bile hızla yaygınlaşmaktadır.

Bilgi teknolojilerinin her örneği, pek de iyi işlemeyen, seçkin bir kesim dışında kimsenin satın alamadığı, ilk benimsenme dönemine ait sürümlerle gelişmeye başlar. Ardından teknoloji biraz daha iyi işler duruma gelir, pahalılaşır. Sonra oldukça iyi işler duruma gelir, ucuzlar. Sonunda fazlasıyla iyi işler duruma gelir, neredeyse bedava olur. Örneğin cep telefonları bu son iki aşama arasında bir yer-

39 Lanier, "One Half of a Manifesto."

dedir. Daha on yıl önce bir filmde karakterlerden birinin taşınabilir telefonunu göstermesi, bu kişinin çok zengin, nüfuzlu ya da hem zengin hem de nüfuzlu olduğunun göstergesi sayılırdı. Bundan yirmi yıl önce nüfusunun büyük bölümü elleriyle çiftçilik yapan bazı toplumlar, bugün yaygın kullanılan cep telefonları sayesinde gelişen bilgi tabanlı ekonomilere sahipler (örneğin, Çin'in kırsal kesimleri dahil Asya toplumları). Çok pahalı ilk dönem benimsenmeden çok ucuz, yaygın benimsenmeye kadar geçen süre artık bir on yıldır. Ancak paradigma değişim hızının her yıl ikiye katlanmasına uygun olarak bu süre içinde bulunduğumuz on yıllık dilimin ardından yalnızca beş yıl olacaktır. Yirmi yıl içinde de bu süre yalnızca iki ile üç yıl arası olacaktır (*bkz.* ikinci bölüm).

Varsıl–yoksul ayrımı önemli bir konu olarak süregelmekte, yapılabilecek ve yapılması gerekenler de her an artmaktadır. Örneğin, gelişmiş ülkelerin AIDS ilaçlarını Afrika ve diğer bölgelerdeki yoksul ülkelerle paylaşma konusunda daha proaktif davranmamış olmaları ve bunun sonucunda milyonlarca yaşamın yitirilmiş olması üzücüdür. Ancak bilgi teknolojilerinin fiyat performansında yaşanan üstel iyileşme bu ayrımı hızla azaltmaktadır. İlaçlar özünde bilgi teknolojisidir ve bilgisayarlar, iletişim, DNA baz çiftlerinin dizilimi gibi diğer bilgi teknolojisi türlerinde her yıl gördüğümüz, fiyat performansının ikiye katlanmasını bu alanda da görüyoruz. İşin başında AIDS ilaçlarının etkisi o kadar iyi değildi, hasta başına yıllık maliyeti on binlerce doları buluyordu. Bugünse bu ilaçlar oldukça etkili olabiliyor, Afrika'daki gibi yoksul ülkelerde hasta başına yıllık maliyeti yüz dolara yaklaşıyor.

İkinci bölümde, gelişmekte olan dünyadaki yüksek ekonomik büyüme (yüzde 6'nın üzerinde) ile (yüzde 4 oranındaki) dünya ortalamasını kıyaslayarak, yoksullukta genel düşüş (örneğin, 1990'dan bu yana Doğu Asya ve Pasifik bölgesinde aşırı yoksullukta görülen yüzde 43 oranındaki düşüş) görüldüğünü açıklayan 2004 yılı Dünya Bankası raporundan söz ettim. Dahası, ekonomi uzmanı Xavier Salai Martin, bireyler arasındaki küresel eşitsizliğin sekiz ölçütünü incelemiş, son çeyrek yüzyılda bunların tümünün düştüğünü bulmuştur.[40]

40 David Brooks, "Good News About Poverty," *New York Times*, 27 Kasım 2004, A35.

Devlet Düzenlemelerinin Olabilirliği Eleştirisi

Burada konuşanlar, sanki hükümetin yönetimi onların yaşamlarının bir parçası değilmiş gibi davranıyorlar. Olmamasını dileyebilirler, ama yaşamlarının bir parçasıdır. Biz bugün burada tartıştıkları konuları ele aldıkça, bu konuların ülke çapında da tartışılır hale geleceğini bilmeleri gerekir. Birtakım seçkin kişiler kişiliklerinden sıyrılıp kendilerini kendi siber alem cennetlerine yüklerken Amerikalıların büyük çoğunluğu öylece yerlerinde oturmayacaktır. Bu konuda söyleyecek sözleri olacaktır. Bu ülkede bu konuda şiddetli tartışmalar olacaktır.

—Leon Fuerth, Başkan Yardımcısı Al Gore'un Eski Ulusal Güvenlik Danışmanı, 2002 Foresight Konferansında

Ölümün olmadığı insan yaşamı insandan başka bir şey olurdu; ölümlülük bilinci, derin arzularımızı ve büyük başarılarımızı doğurur.

—Leon Kass, ABD Biyoetik Konseyi Başkanı, 2003

Hükümet denetimine ilişkin eleştiriler, yönetmeliklerin, teknolojinin ivmesini azaltarak durduracağı fikrine dayanmaktadır. Yönetmelikler önemli bir konu olmakla birlikte, bu kitapta ele alınan eğilimler kapsamlı yönetmeliklerin var olduğu sırada ortaya çıkmış, bu yönetmeliklerin sözü edilen eğilimler üzerinde ölçülebilir bir etkisi olmamıştır. Dünya çapında totaliter bir devlet olmadığı sürece teknik gelişmenin dayandığı ekonomik ve diğer güçler yalnızca süregelen ilerlemelerle büyüyecektir.

Özellikle tartışmalı bir konu olan ve ABD hükümetinin mali kaynaklarını kısıtladığı kök hücre araştırmalarını düşünün. Kök hücre araştırması, biyolojinin temelini oluşturan ve biyoteknoloji devriminin bir parçası olarak yürütülmeye çalışılan bilgi işlem süreçlerinin denetlenmesi ve etkilenmesine yönelik birçok düşünceden yalnızca biridir. Hücre terapisi alanında bile embriyonik kök hücre çalışmaları üzerinde süregelen anlaşmazlıklar, yalnızca aynı hedefe farklı yollardan ulaşılmasını hızlandırmaya yaramıştır. Örneğin, transdiferansiyasyon (deri hücresi gibi bir hücre tipinin diğer tipteki hücrelere dönüştürülmesi) hızlı bir ilerleme kaydetmiştir.

Beşinci bölümde bildirdiğim gibi, son dönemde bilim insanları deri hücrelerini birkaç tipteki diğer hücre türlerine farklılaştırabildiklerini gösterdiler. Hastanın kendi DNA'sıyla farklılaştırılmış hücrelerin sınırsız bir kaynağını vaat eden bu yaklaşım, hücre terapisi araştırmalarının kutsal kâsesine ulaşma hedefini temsil etmektedir. Bu yaklaşım ayrıca DNA hataları olmayan hücrelerin seçilmesini sağlamasıyla, sonuçta (hücrelerin gençleştirilebilmeleri için) genişletilmiş telomer dizilerini sağlayabilecektir. Örneğin, Harvard'ın büyük yeni araştırma merkezi ile California'nın üç milyar dolar teminatlı başarılı girişimi gibi bu tür çalışmaları destekleyen projeler sayesinde doğrudan embriyonik kök hücre araştırmalarında bile ilerleme kaydedilmiştir.

Kök hücre çalışmaları üzerindeki kısıtlamalar talihsiz olmakla birlikte, biyoteknolojinin kapsadığı geniş alan şöyle dursun, hücre terapisi araştırmalarının önemli ölçüde etkilenmiş olduğunu bile söylemek zordur.

Hükümetin getirmiş olduğu birtakım kısıtlamalar, köktenci hümanizmin önceki bölümde ele aldığım bakış açısını yansıtır. Örneğin, Avrupa Konseyi, "İnsan hakları, kalıtım yoluyla yapay olarak değiştirilmemiş genetik örüntü devralma hakkını da içerir," açıklamasını yapmıştır.[41] Konseyin bildirisinin belki de en ilginç yönü, bir kısıtlamayı hak olarak belirlemesidir. Tıpkı aktivistlerin, açlıktan ölmekte olan Afrikalı ulusları biyomühendislik yöntemleriyle üretilmiş ürünleri tüketmek gibi onur kırıcı bir durumdan "korudukları" gibi, konseyin de yine aynı ruhla, doğal bir hastalığın doğal olmayan yöntemlerle tedavi edilmemesini bir insanlık hakkı olarak savunacağını sanıyorum.[42]

Teknik ilerlemenin sağladığı yararlar sonunda bu tür teknoloji karşıtı duygusal refleksleri bastırmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde üretilen ürünlerin çoğu zaten genetiği değiştirilmiş organizmalardır. Asyalı uluslar kalabalık nüfuslarını doyurabilmek için bu teknolojiyi hızla benimsemektedirler ve hatta Avrupa bile genetiği değiştirilmiş gıdaları onaylamaya başlamaktadır. Konu,

41 Hans Moravec, Editöre Mektup, New York Review of Books, http://www.kurzweiltech.com/Searle/searle_response_letter.htm.

42 Patrick Moore, "The Battle for Biotech Progress—GM Crops Are Good for the Environment and Human Welfare," *Greenspirit* (Şubat 2004), http://www.greenspirit.com/logbook. cfm?msid=62.

geçici de olsalar gereksiz kısıtlamaların milyonlarca insanın giderek artan acıları çekmesine neden olabileceği için önemlidir. Ancak teknik gelişme, karşı konulmaz ekonomik kazançlarla ve insanın sağlığı ile esenliğini sağlayan köklü iyileşmelerle körüklenerek binlerce cephede ilerlemektedir.

Leon Fuerth'ün yukarıda aktarılan gözlemi, bilgi teknolojileri hakkında kaçınılmaz bir yanlış kanıyı açığa vurmaktadır. Bilgi teknolojileri yalnızca seçkinlere açık değildir. Daha önce irdelendiği gibi arzulanan bilgi teknolojileri hızla yaygınlaşmakta, neredeyse bedava olmaktadır. Pahalı ve seçkin bir kesime ait oldukları dönem pek iyi işlemedikleri dönemdir (yani gelişimlerinin ilk dönemleridir).

Bu yüzyılın ikinci on yılının başlarında ağ, görüntülerin gözlüklerimizden ve merceklerimizden doğrudan retinamıza yazılması ve çok yüksek bant genişliğine sahip kablosuz internet erişiminin giysilerimizin içinde yer almasıyla tam kapsamlı görsel işitsel sanal gerçekliği sağlayacaktır. Bu olanaklar yalnızca ayrıcalıklı bir kesime ait olmayacaktır. Tıpkı cep telefonları gibi iyi işler duruma geldiklerinde her yerde bulunabileceklerdir.

2020'lerde sağlığımızı koruyup zihinsel yeteneklerimizi artıran nanobotların kanımızda bulunması rutinin bir parçası olacaktır. Bunlar iyi işler duruma geldiklerinde ucuzlamış olacak, yaygın kullanılacaklardır. Yukarıda irdelediğim gibi bilgi teknolojilerinin ilk dönem benimsenmesi ile geç dönem benimsenmesi arasında geçen sürenin kendisi de ivmelenerek bugün geçerli olan on yıllık süreden, yirmi yıl içinde yalnızca birkaç yıla düşecektir. Biyolojik olmayan zekâ artık beyinlerimizde kendine bir yer edindiğinde, bilgi teknolojilerinin doğasına uygun olarak en azından yeteneklerini her yıl ikiye katlayacaktır. Zekâmızın biyolojik olmayan bölümü böylelikle çok geçmeden ağır basar duruma gelecektir. Bugün arama motorları nasıl varsıllara özgü bir lüks değilse, bu da bir lüks olmayacaktır. Bu tür bir büyümenin arzulanır olup olmadığı konusunda bir tartışma söz konusu olduğunda, kimin kazanacağını tahmin etmek çok kolaydır; çünkü gelişmiş zekâya sahip olanlar çok daha iyi tartışmacılar olacaklardır.

Sosyal Kurumların Dayanılmaz Yavaşlığı. Massachusetts Teknoloji Enstitüsünün kıdemli araştırmacılarından Joel Cutcher–Gerschenfeld şunları yazar: "Geriye dönüp son yüz elli yıla baktığımızda, bir önceki dönemde yaşanmış açmazlara çözüm olmuş, izleyen dönemde ise yeni açmazlar yaratmış bir siyasi rejimler silsilesi görürüz. Örneğin, Tammany Hall ve siyasi koruyuculuk modeli, dönemin toprak sahibi soylularının egemen olduğu sisteme kıyasla çok büyük bir gelişmeydi , çok daha fazla sayıda insan siyasi sürece katılmıştı. Koruyuculuk sistemiyle birlikte yine başka sorunlar ortaya çıkmış, bu da kamu hizmetleri modelini –meritokrasinin getirilmesiyle önceki soruna getirilen güçlü bir çözümü– doğurmuştur. Sonra da tabii ki kamu hizmetleri yeniliğin önünde engel oluşturmuştur, biz de yeni bir hükümeti icat etmeye doğru gidiyoruz. Öykü böylece sürüp gitmektedir."[43] Gerschenfeld'in burada işaret ettiği, sosyal kurumların kendi dönemlerinde yenilikçi olsalar bile "yeniliğe ayak bağı" olduklarıdır.

Öncelikle, sosyal kurumların tutuculuklarının yeni bir olgu değildir. Söz konusu tutuculuk yeniliğin evrimsel sürecinin bir parçasıdır; ivmelenen getiriler yasası da daima bu bağlamda işlemiştir. İkincisi, inovasyonun kurumlar tarafından dayatılan sınırları atlatmanın yolunu bulabilmesidir. Dağıtık teknolojilerin gelişmesi bireye her tür kısıtlamayı aşabilme gücünü verir, toplumsal değişime ivme kazandıran temel araçtır. Verilebilecek birçok örnekten biri, internet üzerinden sesli iletişim (VOIP) gibi gelişmekte olan noktadan noktaya tekniklerle iletişim düzenlemelerinin tümünün aşılma sürecidir.

Sanal gerçeklik toplumsal değişimin hızlandırılmasının bir diğer yolunu temsil edecektir. İnsanlar er ya da geç üç boyutlu ve son derece gerçekçi sanal gerçeklik ortamlarında ilişki kurabilecekler, gerçek gerçeklikte yapamayacakları ya da yapmak istemeyecekleri etkinliklerde bulunabileceklerdir.

Teknoloji geliştikçe, geleneksel insan yeteneklerini giderek daha fazla kullanıp, daha az uyarlama gerektirmektedir. İlk kişisel bilgisayarları kullanabilmek için teknik yatkınlığınızın olması gerekirken, bugün cep telefonları, müzik oynatıcılar, ağ tarayıcıları gibi bilgisayarlı sistemlerin kullanımı çok daha az teknik yetenek ge-

43 Joel Cutcher–Gershenfeld, Ray Kurzweil'la özel görüşme, Şubat 2005.

rektirmektedir. Bu yüzyılın ikinci on yılında, Turing testi düzeyinde yeteneklere sahip olmasa da birçok işin yürütülmesinde kişisel asistanlarımız olarak çalışabilecek kadar doğal dil bilgisine sahip sanal insanlarla etkileşim içinde olacağız, bu da bir rutin olacaktır.

Yeni paradigmaları ilk benimseyenler ve geç benimseyenler hep olmuştur. Bugün de hâlâ yedinci yüzyıldaki gibi yaşamayı dileyen insanlar vardır. Bu, ilk benimseyenleri, yeni tavırlar ve yeni ağ tabanlı topluluklar gibi yeni eğilimleri oluşturmaktan alıkoymaz. Birkaç yüzyıl önce yalnızca Leonardo da Vinci ve Newton gibi bir avuç insan dünyayı anlamanın ve anlamlandırmanın yeni yollarını araştırıyordu. Bugün, ortaya çıkan teknolojik yeniliklerin benimsenip uyarlanması için toplumsal yenilikçiliğe katılıp katkıda bulunan dünya çapındaki topluluk, nüfusun hatırı sayılır bir bölümünü kapsamaktadır, bu da ivmelenen getiriler yasasının bir başka yansımasıdır.

Tanrıcılık Eleştirisi

Yaygın bir diğer itiraz bilimin dışına uzanarak, insan yeteneklerini açıklayan tinsel bir düzeyin olduğu, bunun da nesnel yöntemlerle işlenemeyeceğini savunur. Seçkin filozof ve matematikçi William A. Dembski, "çağdaş maddeciler" olarak adlandırdığı, "maddenin devinimleriyle değişimlerini, insanın zihinsel melekelerini açıklamak için yeterli gören" Marvin Minski, Daniel Dennett, Patricia Churchland ve Ray Kurzweil gibi düşünürlerin bakış açılarını yerer.[44]

Dembski, "öngörülebilirliği, maddeciliğin temel erdemi" olarak görerek, "boşluktan" da onun "en büyük kusuru" olarak söz eder. "İnsanların arzuları olduğunu" söyleyerek şöyle sürdürür: "Özgürlük, ölümsüzlük ve mutluluğa erişmeyi arzularız. Tanrı katında huzura kavuşana kadar huzursuzuzdur. Maddecilerin sorunu ise bu arzuların maddede bulunamamasıdır." Dembski, insanların salt makine olamayacakları sonucuna varır; çünkü "bu tür sistemlerde maddenin ötesine ait etkenler kesinlikle bulunmaz."

Dembski'nin maddecilik kavramını "yetenek maddeciliği" ya da daha güzeli, "yetenek örüntücülüğü" olarak adlandırmayı yeğ-

44 William A. Dembski, "Kurzweil's Impoverished Spirituality," Richards vd, *Are We Spiritual Machines*? içinde.

lerim. Yetenek maddeciliği/örüntücülüğü, biyolojik nöronların ve hücreler arasındaki bağlantıların madde ve enerjinin sürdürülebilir örüntülerinden oluştuğu gözlemine dayanır. Bu yaklaşım ayrıca bunların yöntemlerinin de ya kopyalarıyla ya da işlevsel olarak denk olan yeniden yaratımlarıyla betimlenebileceğini, kavranabileceğini ve modellenebileceğini esas alır. "Yetenek" sözcüğünü kullanıyorum, çünkü bu sözcük insanların dünyayla etkileşime girdikleri zengin, incelikli ve çeşitli yöntemlerin tümünü içermekte, yalnızca zihinsel olarak etiketlenebilecek daha dar becerileri belirtmez. Gerçekten de duyguları anlayıp duygulara tepki verme yeteneğimiz, en az zihinsel konuları işleme yeteneğimiz kadar karmaşık ve çok yönlüdür.

Örneğin John Searle, insanın nöronlarının biyolojik makineler olduğunu kabul etmektedir. İnsan nöronlarının yetenek ve tepkilerinde Dembski'nin "maddenin ötesine ait" etkenlerini varsayan ciddi gözlemci sayısı çok azdır. İnsanın bedeni ile beyninin davranış ve yeterliliğinin, madde ve enerji örüntülerine dayanarak açıklanmasının onun olağanüstü niteliklerine olan hayranlığımızı azaltmasına gerek yoktur. Dembski'nin "makine" kavramı güncelliğini yitirmiş bir anlayıştır.

Dembski ayrıca, "Beyinlerin aksine bilgisayarlar düzenli ve hatasızdır... bilgisayarlar belirlenimci bir şekilde çalışırlar," diye yazar. Bu ve diğer ifadeleri, makineleri ya da varlıkları madde ve enerji örüntüleri ("maddi" varlıklar) olarak gören, on dokuzuncu yüzyılın otomatlarının basit düzenekleriyle sınırlı bir bakışı ortaya koymaktadır. Yüzlerce hatta binlerce parçadan oluşan bu aygıtlar oldukça öngörülebilir yapılardı, kesinlikle de özgürlük arzusu ve insanın diğer sevecen niteliklerine sahip değildiler. Aynı gözlemler büyük ölçüde bugünün milyonlarca parçadan oluşan makineleri için de geçerlidir. Ancak aynı şeyi etkileşim içindeki *milyon kere milyar* "parçadan" oluşan, insanın beyni ve bedeniyle aynı karmaşıklığa sahip makineler için söylemek mümkün değildir.

Maddeciliğin öngörülebilir olduğunu söylemek de yanlıştır. Bugünün bilgisayar programları bile simüle edilmiş rastlantısallık kullanır. Eğer bir süreçte gerçekten rastlantısal olaylara gerek duyuluyorsa, bunu sağlayan aygıtlar da vardır. Temelde, maddi dünyada algıladığımız her şey, her biri fiziksel gerçekliğin teme-

linde indirgenemez bir kuantum rastlantısallık gösteren birkaç trilyon kuantum olayın sonucudur (ya da öyle görünmektedir; bilim kurulu hâlâ kuantum olayların temelini oluşturan belirgin rastlantısallığın gerçek doğası üzerinde tartışmaktadır). Maddi dünya –hem makro hem de mikro düzeyde– tam tersine, öngörülebilir değildir.

Birçok bilgisayar programı Dembski'nin betimlediği biçimde çalışsa da benim de çalıştığım alan olan örüntü tanıma alanında ağır basan tekniklerde biyolojiden esinlenen kaotik bilgi işlem yöntemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, birçoğu rastlantısal ve öngörülemeyen ögeler içeren milyonlarca sürecin öngörülemeyen etkileşimi, ayrıntılı tanıma sorularına beklenmedik ama yine de uygun yanıtlar vermektedir. İnsan zekâsı büyük ölçüde yalnızca bu tür örüntü tanıma süreçlerinden oluşmaktadır.

Duygularımıza, en yüksek arzularımıza verdiğimiz yanıtlara gelince, bunlar doğru biçimde ortaya çıkan özellikler olarak görülmektedir, tabii ki temel özelliklerdir ama yine de insan beyninin, bulunulan karmaşık ortamla etkileşimi sonucunda ortaya çıkan örüntülerdir. Biyolojik olmayan varlıkların karmaşıklığı ile kapasitesi üstel olarak büyümektedir, birkaç on yıl içinde de (sinir sisteminin diğer bölümleri ve endokrin sistemle birlikte) insan beyni dahil biyolojik sistemlere denk duruma gelecektir. Gerçekten de geleceğin makinelerinde birçok tasarım biyolojiden esinlenecek, bir başka deyişle biyolojik tasarımların türevleri olacaklardır. (Bu, günümüzün birçok sistemi için zaten geçerlidir.) Benim tezim, insan beyninin gerçek örüntülerinin olduğu gibi karmaşıklığının da paylaşılmasıyla, geleceğin bu biyoloji dışı varlıklarının, insanların zekâsıyla duygu yoğun tepkilerini ("arzular" gibi) gösterececkleridir.

Bu türden biyolojik olmayan bir varlığın bilinci olabilecek midir? Searle, "belirli nörobiyolojik süreçlere" doğru biçimde sahip olup olmadığını saptayarak bu soruyu kolaylıkla (en azından kuramsal olarak) çözebileceğimizi savunur. Bence birçok insan, sonunda da insanların büyük bölümü, insanlardan türeyip biyolojik olmayan zekâya sahip varlıkların bilince sahip olduklarına inanacaklardır; ancak bu politik ve psikolojik bir tahmindir, bilimsel ya da felsefi bir yargı değil. Özetle: Nesnel gözlem yoluyla

çözümlenemediği için bunun bilimsel bir soru olmadığı konusunda Dembski'ye katılıyorum. Bazı gözlemciler, bilimsel olmayan bir sorunun önemli, hatta gerçek bir soru bile olmadığını söylerler. Benim görüşüm (eminim Dembski de buna katılacaktır), tam da bilimsel bir soru olmadığı için bu sorunun felsefi bir soru olduğudur, daha doğrusu temel bir felsefe sorunudur.

Dembski şöyle yazar: "Kendimizi bulmak için kendimizi aşmamız gerekir. Maddenin devinimleri ile değişimleri kendimizi aşmamıza olanak sağlamaz. ... Freud ... Marx ... Nietzsche, ... her biri aşkınlık umudunu sanrı olarak görmüşlerdir." Aşkınlığı son amaç olarak gören bu bakış, akla uygun biçimde anlatılmıştır. Ancak maddi dünyanın "aşkınlığa olanak sağlamadığı" konusuna katılmıyorum. Maddi dünya, doğası gereği evrilmekte, her aşama kendinden önceki aşamadan aşkınlaşarak gelişmektedir. Yedinci bölümde irdelediğim gibi, evrim daha fazla karmaşıklığa, daha fazla inceliğe, daha fazla bilgiye, daha yüksek zekâya, daha fazla güzelliğe, daha büyük aşka doğru ilerler. Tanrı'ya da tüm bu isimler verilmiş, yalnızca sınır konmamıştır: Sonsuz bilgi, sonsuz zekâ, sonsuz güzellik, sonsuz yaratıcılık, sonsuz aşk. Evrim sonsuz bir düzeye ulaşmaz, ancak üstel olarak patladıkça kuşkusuz bu yönde ilerlerler. Yani evrim, bu ideale asla erişemese de önlenemez biçimde Tanrı kavramımıza yaklaşır.

Dembski şöyle sürdürür:

Bir makine tam olarak, fiziksel parçalarının kurulumu, dinamiği ve ilişkileriyle belirlenir. ... "Makineler," maddenin ötesine ait etkenlerin mutlak yokluğunu vurgular. ... Makinelerin, özünde, tarihleri olmadığını ima ettiği için de yenileme ilkesi bu tartışmanın konusudur. ... Ancak doğrusunu söylemek gerekirse, gerçekten de bir makinenin tarihi yoktur. Tarihi, gereksiz bir ektir, makineyi değiştirmeden de kolaylıkla farklı olabilecek bir ek. ... Bir makine için olup biten her şey o anda olup bitendir. ... Makineler depodaki ögelere erişim sağlar ya da sağlayamazlar. ... Gerekli değişikliklerin yapılması koşuluyla, gerçeğe ters düşen olayları (yani, hiç olmamış şeyleri) temsil eden ama makineler için erişilebilir olan ögeler, sanki olmuş gibi gelebilir.

Bu kitabın söylemek istediği şeyin, makinelerin doğası ile insan doğamız hakkında gönülden benimsediğimiz birçok varsayımın önümüzdeki birkaç on yılda sorgulanmaya başlanacağı düşüncesi olduğunu belirtmeye gerek yoktur. Dembski'nin "tarih" kavramı, mutlaka insan olmanın zenginliği, derinliği, karmaşıklığından doğan, insanlığın bir diğer boyutudur. Diğer yandan, Dembski'nin anladığı biçimde bir tarihlerinin olmaması da makinelerin bugüne kadar bildiğimiz basitliğinin yalnızca bir diğer yönüdür. Benim tezim tam da 2030'lar ve sonrasında makinelerin davranışlarının, duygusal tepki, arzu, ve evet, tarih ortaya koyacak kadar büyük bir karmaşıklık ve varsıllık göstereceğidir. Yani, Dembski yalnızca günümüzün sınırlı makinelerini betimlemekte, bu sınırlamaların doğaları gereği olduğunu varsaymaktadır, bu da "bugünün makinelerinin insanlar kadar yetenekli olmadıklarını, bu nedenle asla bu performans düzeyine erişemeyeceklerini" söylemekle aynıdır. Dembski yalnızca bu sonucu varsaymaktadır.

Dembski'nin makinelerin kendi tarihlerini anlama yeteneklerine bakışı, depolarındaki ögelere "erişimleriyle" sınırlıdır. Ancak geleceğin makineleri yalnızca kendi tarihlerinin kaydını işlemekle kalmayacak, o tarihi anlayıp üzerinde derinlemesine düşünecek yeteneği de göstereceklerdir. "Gerçeğe ters düşen olayları temsil eden ögelere" gelince, aynı şeyi kuşkusuz insan belleği için de söylemek mümkündür.

Dembski'nin uzun uzadıya sürdürdüğü tinsellik tartışmaları şöyle özetlenebilir:

> Peki, bir makinenin Tanrı'nın varlığının farkında olması mümkün müdür? Makinelerin tam olarak fiziksel parçalarının kurulumu, dinamiği ve ilişkileriyle belirlendiğini unutmayın. Buradan, Tanrı'nın bir makine üzerinde etki edip, böylelikle onun durumunu değiştirip, kendi varlığını makineye fark ettiremediği sonucu çıkarılabilir. Gerçekten de Tanrı bir makinenin durumunu değiştirmek üzere ona etki yaptığında, o artık tam olarak bir makine olmaktan çıkar; çünkü makinenin bir yönü fiziksel kurulumunu artık aşmıştır. Buradan yola çıkarak, bir makinenin Tanrı'nın varlığıyla ilgili farkındalığının, Tanrı'nın makinenin durumunu değiştirecek herhangi bir ediminden bağımsız olması gerektiği

söylenebilir. Öyleyse makine Tanrı'nın varlığını nasıl fark eder? Farkındalık kendiliğinden gelmelidir. Makine tinselliği kendini gerçekleştirmenin getirdiği tinselliktir, kendini özgürce ortaya koyarak, ilişki içerisinde olduğu varlıkları dönüştüren etkin bir Tanrı'nın tinselliği değil. Kurzweil'ın bir makineyi "tinsel" sıfatını kullanarak değiştirmesi, bu nedenle tinselliğe yoksullaştırılmış bir bakışı gerektirir.

Dembski, bir varlığın (örneğin bir kişinin), Tanrı'nın varlığını Tanrı onu etkilemeden fark edemeyeceğini söyler; ancak Tanrı bir makineyi etkileyemeyeceği için makine yine de Tanrı'nın varlığının farkında olamayacaktır. Böyle bir akıl yürütme tam anlamıyla totolojik ve insan merkezlidir. Tanrı yalnızca insanlarla, insanlar arasında da biyolojik insanlarla ilişkiye geçer. Dembski'nin kişisel bir görüş olarak bu fikrin altına imza atmasıyla ilgili hiçbir sorunum yok; ancak "insanlar makine değildir... nokta" ifadesinin "güçlü kanıtlarını" söz verdiği gibi ortaya koyamaz. Searle gibi Dembski de bu sonucu yalnızca varsayar.

Searle gibi Dembski de karmaşık dağıtık örüntülerin ortaya çıkan özellikleri düşüncesini kavrar gibi görünmemektedir. Dembski şöyle yazar:

> Öfkenin beyindeki belli bölgesel uyarımlarla ilişkili olması mümkündür. Ancak bölgesel beyin uyarımları öfkeyi, açık saçık küfretmek gibi öfkeyle ilintili açık davranışlardan daha iyi açıklamaz. Bölgesel beyin uyarımları kuşkusuz öfkeyle ilişkilendirilebilir ancak bir kişinin bir sözü aşağılama olarak yorumlayıp öfkeye kapılmasının, diğer yanda bir diğer kişinin aynı sözü bir şaka olarak yorumlayıp gülerek karşılamasının açıklaması nedir? Aklın tam maddeci bir açıklaması bölgesel beyin uyarımlarının, diğer bölgesel beyin uyarımları açısından anlaşılmasını gerektirir. Fakat daha çok bölgesel beyin uyarımlarının (örneğin, öfkeyi gösteren), anlambilimsel içerik açısından (örneğin, aşağılamayı gösteren) açıklanması gerektiğini görüyoruz. Beyin uyarımları ile anlambilimsel içeriğin bu karışımı yine de aklın ya da zekânın eyleminin maddeci açıklamasında zorlanır.

Dembski, öfkenin "bölgesel beyin uyarımlarıyla" ilişkili olduğunu varsayar, ancak öfkenin beyindeki etkinliklerin karmaşık dağıtık örüntülerinin bir yansıması olduğu neredeyse kesindir. Öfkeyle ilişkili bölgesel sinirsel bir eşlenik olsa bile, bu yine de çokyönlü ve etkileşim içindeki örüntülerin sonucu olacaktır. Dembski'nin farklı kişilerin benzer durumlarda neden farklı tepkiler verdikleri sorusunun yanıtıysa söz konusu madde ötesine ait etkenlere başvurmamızı hiç gerektirmez. Farklı kişilerin beyinlerinin, deneyimlerinin aynı olmadığı açıktır; bu farklılıklar da farklı gen ve deneyimler sonucunda oluşan fiziksel beyinlerindeki farklılıklarla net biçimde açıklanır.

Dembski'nin bu ontolojik soruna getirdiği açıklama, var olanın son dayanağının maddeye indirgenemeyen "şeylerin gerçek dünyası" olduğudur. Dembski, hangi "şeyleri" temel olarak kabul ettiğinin listesini vermez; ancak insan aklının da para ve sandalyeler gibi diğerleriyle birlikte bu listede yer alması olasıdır. Bu bakımdan görüşlerimizde az da olsa bir örtüşme olabilir. Dembski'nin "şeylerini" ben örüntüler olarak adlandırıyorum. Örneğin para, anlaşmaların, anlayışların, beklentilerin oluşturduğu engin, kalıcı olarak süregelen bir örüntüdür. Belki "Ray Kurzweil" o kadar büyük bir örüntü değildir ama bugüne kadar kalıcı olmuştur. Anlaşılan, Dembski örüntülerin gelip geçici olduğunu, sağlam olmadığını düşünmekte, ancak ben örüntülerin gücüne ve dayanıklılığına derin bir saygı duyuyorum. Örüntüleri temel bir ontolojik gerçeklik olarak görmek mantıksız değildir. Gerçekte madde ve enerjiye doğrudan dokunamayız ancak Dembski'nin "şeylerinin" altında yatan örüntüleri doğrudan deneyimleyebiliriz. Bu tezin temelini, dünyamızdaki güçlü örüntüleri (örneğin insan zekâsı gibi) anlamak için zekâmız ile zekâmızın devamı olan teknolojiyi kullandıkça bu örüntüleri başka katmanlarda yeniden yaratabileceğimiz –ve genişletebileceğimiz!– gerçeği oluşturur. Örüntüler, onları somutlaştıran maddeden daha önemlidir.

Son olarak, eğer Dembski'nin zekâ geliştiren maddenin ötesine ait şeyleri gerçekten varsa, bunları nereden edinebileceğimi öğrenmek isterim.

Bütüncülük Eleştirisi

Diğer bir yaygın eleştiri de şudur: Makineler, sabit ve katı biçimde yapılandırılmış hiyerarşi birimleri olarak düzenlenirler, oysa biyoloji her öenin tüm diğer ögeleri etkilediği bütüncü bir ögeler düzenine dayanır. Biyolojinin (insan zekâsı gibi) benzersiz yetenekleri yalnızca bu tür bir bütüncü tasarımın sonucu olabilir. Ayrıca, bu tasarım ilkesini yalnızca biyolojik sistemler kullanabilir.

Yeni Zelanda'daki Otago Üniversitesi biyologlarından Michael Denton, biyolojik varlıkların tasarım ilkeleri ile tanıdığı makinelerin tasarım ilkeleri arasındaki açık farklılıklar üzerinde durur. Denton, güzel bir dil kullanarak, organizmaları "kendiliğinden düzenlenen, ... kendilerine işaret eden, ... kendiliğinden kopyalanan, ... karşılıklı, ... kendiliğinden biçimlenen ve bütüncü..." olarak betimler.[45] Ardından desteksiz bir sıçramayla –buna bir inanç atağı da denebilir– bu tür organik biçimlerin yalnızca biyolojik süreçlerle yaratılabileceğini, bu biçimlerin varoluşun "kesin, kapalı, ... temel" gerçekleri olduğunu söyler.

Organik sistemlerin, asimetrik protein biçimlerinin bıraktıkları "ürkütücü başka dünyalı ... izlenimden" insan beyni gibi daha yüksek düzeydeki organların olağanüstü karmaşıklığına kadar güzelliği, karmaşıklığı, tuhaflığı ve birbirleriyle olan bağlantılarının karşısında Denton'un "dehşete kapılarak" duyduğu "hayranlığı" kendisiyle paylaşıyorum. Ayrıca, biyolojik tasarımın köklü bir dizi ilkeyi temsil ettiği konusunda da Denton'a katılıyorum. Bununla birlikte, Denton ya da bütüncü okulun diğer eleştirmenlerinin ne kabul ettikleri ne de yanıt verdikleri tezim tam da makinelerin de (yani, insanın yönettiği tasarımın türevi olan varlıkların da) aynı ilkelere erişebildikleri, zaten de kullanmakta olduklarıdır. Bu gerçek, kendi çalışmalarımda temel itici güç olmuştur ve geleceteki gelişme dalgasını temsil eder. Doğanın düşüncelerinin taklit edilmesi, geleceğin teknolojilerinin sağlayacağı olağanüstü güçlerin dizginlenip yönlendirilebilmesinin en etkili yoludur.

Biyolojik sistemler tümden bütüncül değildir, çağdaş makineler ise tümden modüler değildir; her ikisi de süreklilik içinde var olur. Doğal sistemlerin işlevsellik birimlerini moleküler dü-

45 Denton, "Organism and Machine."

zeyde bile belirleyebiliriz; fark edilebilen hareket mekanizmalarıysa daha yüksek organlar ve beyin bölgeleri düzeyinde daha da belirgindir. Dördüncü bölümde irdelediğimiz gibi, belirli beyin bölgelerinde yer alan işlev ve bilgi dönüşümlerinin anlaşılması sürecinde epeyce yol alınmıştır.

İnsan beyninin her yönünün, tüm diğer yönlerinin her biriyle etkileşim içinde olduğunu, bu nedenle de yöntemlerini anlamanın olanaksız olduğunu öne sürmek yanıltıcıdır. Araştırmacılar daha şimdiden beynin birkaç düzine kadar bölgesinde yer alan bilgi dönüşümlerini belirleyerek modellediler. Diğer yandan, modüler olarak tasarlanmamış olan ve tasarım özelliklerinin, beşinci bölümde betimlenen genetik algoritma örneklerinde olduğu gibi, birbiriyle derinden bağlantılı olduğu birçok çağdaş makine örneği de vardır. Denton şunları yazar:

> Bugün hemen hemen tüm profesyonel biyologlar mekanikçi/indirgemeci yaklaşımı benimsemiştir, bir organizmanın temel parçalarının (bir saatin çarkları gibi) başlıca gerekli şeyler olduğunu, bir canlı organizmanın (bir saat gibi) onu oluşturan parçaların toplamından başka bir şey olmadığını, bütünün özelliklerini belirleyenin bu parçalar olduğunu ve (bir saat gibi) bir organizmanın tüm özelliklerinin tam bir tanımının tek tek parçalarının betimlenmesiyle elde edilebileceğini varsayarlar.

Denton da burada, karmaşık süreçlerin "tek tek parçalarının" ötesine geçen, ortaya çıkan özellikleri sergileme yeteneğini göz ardı eder. Şu sözleriyle bu potansiyeli doğada görür gibidir: "Tam tamına gerçek anlamda organik biçimler ... gerçekten gelişmekte olan gerçeklikleri temsil ederler." Ancak ortaya çıkan gerçeklikleri açıklamak için Denton'un "dirimselci modeline" başvurmanın pek de gereği yoktur. Ortaya çıkan yeni özellikler örüntülerin gücünden türerler, hiçbir şey, örüntüler ile örüntülerin ortaya çıkan özelliklerini doğal sistemlerle kısıtlamaz.

Denton şu sözleriyle doğanın yöntemlerinin taklit edilmesinin olabilirliğini kabul eder gibidir:

> Mühendislik yöntemleri kullanarak proteinlerden organizmalara kadar yeni organik biçimlerin üretilmesi sonuçta

> tümden yeni bir yaklaşımı, bir tür "aşağıdan yukarıya" tasarım gerektirecektir. Organik bütünlerin parçaları yalnızca bütünün içinde yer aldıklarından, organik bütünlerin azar azar belirlenerek bir dizi görece bağımsız birimlerle oluşturulması mümkün değildir; sonuç olarak, bölünmemiş bütünün tamamının, bir bütün olarak belirlenmesi gerekir.

Denton burada sağlam bir öğüt vererek, benim ve diğer araştırmacıların örüntü tanıma, karmaşıklık (kaos) kuramı ve kendiliğinden düzenlenen sistemler alanında kullandığımız mühendisliğe bir yaklaşımı tanımlar. Ancak Denton bu metodolojilerden habersiz gibi görünmektedir; aşağıdan yukarıya, bileşen güdümlü mühendislik örnekleri ile bunların getirdiği sınırlamaları betimledikten sonra, hiçbir gerekçe göstermeden, bu iki tasarım felsefesi arasında bir ayrılık olduğu, bunların arasında köprü kurmanın mümkün olmadığı sonucuna varır. Aslında bu köprü şu anda yapım aşamasındadır.

Beşinci bölümde ele aldığım gibi, uygulamalı evrim yoluyla kendi "ürkütücü başka dünyalı" ancak etkili tasarımlarımızı yaratabiliriz. Genetik algoritmalar yoluyla zeki tasarımların yaratılması için evrimin ilkelerinin nasıl uygulanacağını betimledim. Benim bu yaklaşımla edindiğim deneyime göre sonuçlar, Denton'un "tasarımın mantığa açıkça aykırılığı ve herhangi bir belirgin modülerlik veya düzenliliğin eksikliği, ... düzenlemenin katıksız kaosu, ... [ve] mekanik olmayan izlenim" biçiminde tanımladığı organik moleküllerle oldukça iyi temsil edilmektedir.

Genetik algoritmalar ve diğer aşağıdan yukarıya kendiliğinden düzenlenen tasarım yöntemleri (örneğin, nöron ağları, Markov modelleri ve beşinci bölümde ele aldığımız diğerleri gibi), sürecin işlediği her keresinde bu sistemlerin sonuçları farklı olacak biçimde, öngörülemeyen bir ögeyi bünyelerinde barındırırlar. Makinelerin belirlenimci, o nedenle de öngörülebilir olduğuna ilişkin genel görüşe karşın, makinelerin kolaylıkla yararlanabilecekleri, kullanıma hazır birçok rastlantısallık kaynağı bulunmaktadır. Çağdaş kuantum mekaniği kuramları, varoluşun özünde köklü bir rastlantısallığın bulunduğunu varsayar. Kuantum mekaniğinin belli kuramlarına göre, makro düzeyde sistemlerin belirlenimci davranışları gibi görünenler, yalnızca çok fazla sayıda ve temelde

öngörülemeyen olaylara dayanan istatistiklerin ağır basmasının sonucudur. Ayrıca, Stephen Wolfram ile diğerlerinin çalışmaları, kuramsal olarak tümüyle belirlenimci olan bir sistemin bile yine de etkili biçimde rastlantısal ve en önemlisi, tümüyle öngörülemeyen sonuçlar üretebildiğini ortaya koymuştur.

Genetik algoritmalar ve benzer kendiliğinden düzenlenen yaklaşımlar, modüler bileşen güdümlü yaklaşımlarla da elde edilemeyecek tasarımların da yolunu açmaktadır. Denton'un özellikle organik yapılara dayandırdığı, parçaların bütüne göre "tuhaflığı, ... kaosu, ... dinamik etkileşimi," insanın başlattığı bu kaotik süreçlerin sonuçlarının niteliklerini oldukça iyi betimler.

Genetik algoritmalarla yaptığım çalışmalarda, böyle bir algoritmanın tasarımı giderek geliştirdiği süreci inceledim. Bir genetik algoritma, tasarım performansını her çalışmada ayrı ayrı alt sistemleri tasarlayarak gerçekleştirmez, onun yerine çoğalan "hepsi bir anda" yaklaşımıyla, çözümün genel uygunluğunu ya da "gücünü" derece derece iyileştiren birçok küçük değişikliği tasarım genelinde uygular. Çözümün kendisi yavaş yavaş ortaya çıkar, basitlikten karmaşıklığa doğru açılır. Ürettiği çözümler çoğunlukla tıpkı doğada olduğu gibi asimetrik, hantal ancak etkilidir; ayrıca zarif, hatta güzel de olabilmektedir.

Denton, örneğin günümüzün geleneksel bilgisayarları gibi çoğu çağdaş makinenin modüler yaklaşımla tasarlandığı gözleminde haklıdır. Bu geleneksel yöntem belli önemli mühendislik avantajları sağlamaktadır. Örneğin, bilgisayarların bellekleri insanlarınkinden çok daha keskindir, mantık dönüşümlerini, destek almayan insan zekâsından çok daha etkili biçimde başarabilirler. En önemlisi, bilgisayarlar bellek ve örüntülerini anında paylaşabilirler. İnsanın örüntü tanıma yeteneğinin gücüyle kanıtlandığı gibi, doğanın kaotik, modüler olmayan yaklaşımının da Denton'un gayet iyi dile getirdiği belirgin avantajları vardır. Ancak insanın yönlendirdiği teknolojinin var olan (ve azalan!) sınırlamaları nedeniyle, biyolojik sistemlerin doğal olarak, hatta ontolojik olarak apayrı bir dünya olduklarını söylemek tümden gerekçesiz bir sıçramadır.

Doğanın mükemmel tasarımı (örneğin göz) yoğun bir evrimsel süreçten yararlanmıştır. Bugün en karmaşık genetik algoritmalarımız on binlerce bitlik genetik kod barındırırken, insanlar gibi

biyolojik varlıklar milyarlarca bitlik (sıkıştırıldığında ise yalnızca on milyonlarca bitlik) genetik kodlarla tanımlanmaktadır.

Ancak tüm bilgi tabanlı teknolojilerde olduğu gibi, genetik algoritmaların ve doğadan esinlenen diğer yöntemlerin karmaşıklığı üstel olarak artmaktadır. Bu karmaşıklığın artış hızını incelediğimizde, yirmi yıl içinde bunların insan zekâsının karmaşıklığına denk geleceğini görürüz, bu süre de benim donanım ve yazılım alanlarındaki doğrudan eğilimlerden elde ettiğim tahminlerle tutarlıdır.

Denton, proteinleri üç boyuta katlamayı, "yalnızca 100 bileşenden oluşan bir tanesini bile" henüz başaramadığımıza işaret eder. Bu üç boyutlu örüntüleri aklımızda canlandırmamızı sağlayan araçlara ancak son yıllarda sahip olduk. Ayrıca, atomlararası güçlerin modellenmesi saniyede yüz bin kere milyar (10^{14}) dolayında işlem gerektirecektir. 2004'ün sonunda IBM, süper bilgisayarı Blue Gene/L'in, yetmiş teraflop (yaklaşık 10^{14} cps) kapasiteye sahip bir sürümünü piyasaya çıkardı; bunun, adından da anlaşıldığı gibi protein katlanmasını simüle edecek yeteneği sağlaması bekleniyor.

Genetik kodları kesip, ekleyip, yeniden düzenlenmeyi ve doğanın kendi biyokimyasal fabrikalarından enzim ve diğer karmaşık biyolojik maddeleri üretecek biçimde yararlanmayı zaten başardık. Bu türden çağdaş çalışmaların çoğunun iki boyutlu yürütüldüğü doğrudur, ancak doğada bulunan ve çok daha karmaşık olan üç boyutlu örüntülerin akılda canlandırılıp modellenmesi için gerekli bilgi işlem kaynaklarının elde edilmesi çok uzak değildir.

Protein konusunda Denton'la birebir yaptığımız tartışmalarda, protein konusunun eninde sonunda çözüleceğini kabul ederek, bunun bir on yılı olduğu tahmininde bulunmuştur. Belli bir teknik yeteneğin *henüz* başarılmamış olması, bunun hiçbir zaman başarılmayacağına ilişkin güçlü bir kanıt oluşturmaz.

Denton şöyle yazar:

> Bir organizmanın genlerine ait bilgiyle kodlanmış olan organik biçimleri kestirmek olanaksızdır. Tek tek proteinlerin ne özelliklerinin ne de yapılarının, ne de –ribozomlar ve bütün halindeki hücreler gibi– daha yüksek biçimlerin özelliklerinin ya da yapılarının, genler ile onların birincil ürünlerinin, amino asitlerin doğrusal dizilimlerinin en kapsamlı çözümlemesiyle bile anlaşılması mümkün değildir.

Denton'un yukarıdaki gözlemi özünde doğru olmakla birlikte, temelde tüm genom sistemin yalnızca bir parçası olduğuna işaret etmektedir. DNA kodu öykünün tamamı değildir, sistemin çalışıp, anlaşılabilmesi için moleküler destek sisteminin geri kalanı da gereklidir. Ribozomun ve DNA makinesinin işlemesini sağlayan diğer moleküllerin de tasarımına gereksinimimiz vardır. Ancak, bu tasarımların eklenmesi biyolojinin tasarım bilgisinin miktarını önemli ölçüde değiştirmez.

İnsan beyninin çok büyük ölçekte paralel, sayısal kontrollü analog, hologram benzeri, kendiliğinden düzenlenen ve kaotik süreçlerinin yeniden yaratılması, protein katlamamızı gerektirmez. Dördüncü bölümde irdelendiği gibi, bugün nörolojik sistemleri ayrıntılı olarak yeniden yaratmayı başarmış düzinelerce proje yürütülmekte. Bunlar arasında protein katlamadan insanların beyninde başarıyla işleyen nöron implantları da bulunuyor. Öte yandan, Denton'un proteinlerin doğanın bütüncü yöntemleriyle ilgili kanıtı olduğuna ilişkin görüşünü anlamakla birlikte, işaret ettiğim gibi, temelde teknolojimizle bu yöntemleri taklit etmemizin önünde hiçbir engel bulunmaz, zaten bu yolda ilerliyoruz.

Özet olarak, Denton fiziksel dünyanın karmaşık madde ve enerji sistemlerinin "organizmaların biyolojik tasarımın kendiliğinden kopyalanan, 'biçim değiştirebilen', kendiliğinden yenilenen, kendiliğinden birleşen ve bütüncü düzeni gibi ortaya çıkan ... yaşamsal özelliklerini" sergileme yeteneğinden yoksun oldukları, bu nedenle de "organizmalarla makinelerin farklı varlık sınıflarına ait oldukları" sonucunu çıkarmakta acele davranmaktadır. Dembski ve Denton, modüler yöntemlerle tasarlanıp kurulabilen varlıklar olarak makinelere aynı sınırlamayla bakan bakışı paylaşırlar. Doğal dünyanın kendiliğinden düzenlenen tasarım ilkelerini insanın başlattığı teknolojinin ivmelenen güçleriyle birleştirerek, kendilerini oluşturan parçaların toplamından çok daha büyük güçlere sahip "makineler" yapabiliriz, zaten de yapıyoruz. Bu, müthiş bir birleşim olacaktır.

SONSÖZ

Dünyaya nasıl göründüğümü bilmiyorum ama kendime yalnızca deniz kıyısında oynayan, önünde daha keşfedilecek engin bir okyanus dururken kendini bulduğu düzgün bir taş ya da normalden güzel bir kabukla oyalayan bir çocuk gibi görünüyorum.

—Isaac Newton[1]

Yaşamın anlamı yaratıcı aşktır. İçsel, kişinin özeli olan içli duygu anlamında değil, dünyada devinip orijinal bir şeyler yapan dinamik bir güç olarak aşk.

—Tom Morris, *If Aristotle Ran General Motors* [*General Motors'u Aristoteles Yönetseydi*]

Hiçbir üstel değer sonsuz değildir ... fakat "sonsuzu" erteleyebiliriz.

—Gordon E. Moore, 2004

Ne kadar Tekil? Tekillik ne kadar tekildir? Bir anda mı oluverecek? Sözcüğün türediği kökü bir kez daha ele alalım. Matematikte tekillik, herhangi bir sınırın ötesindeki bir değerdir, özünde sonsuzluktur. (Kuramsal olarak böyle bir tekilliği içeren bir fonksiyonun tekillik noktasında tanımsız olduğu kabul edilir. Ama fonksiyonun değerinin tekilliğe yakın noktalarda herhangi bir belirli sonlu değerden büyük olacağını gösterebiliriz.)[2]

1 James Gardner, "Selfish Biocosm," *Complexity* 5.3 (Ocak–Şubat 2000): 34–45 içinde verilen alıntı.

2 $y = 1/x$ fonksiyonunda, $x = 0$ ise, o zaman fonksiyon kesin olarak tanımsızdır ama y'nin değerinin herhangi bir sonsuz sayıdan büyük olduğunu göster-

Bu kitapta irdelediğimiz şekliyle Tekillik, bilgi işlemin, belleğin ya da herhangi bir diğer ölçülebilir özelliğin sonsuz düzeylerine çıkmaz. Ancak tabii ki zekâ dahil tüm bu niteliklerin çok yüksek düzeylerine ulaşır. İnsan beyninde ters mühendislik işleminin uygulanmasıyla birlikte insan zekâsının paralel, kendiliğinden düzenlenen, kaotik algoritmalarını çok güçlü bilgi işlem katmanlarına uygulayabileceğiz. O zaman bu zekâ kendi tasarımını, hem donanım hem yazılım tasarımını, hızla ivme kazanan bir yineleme sürecinde geliştirebilecek durumda olacaktır.

Ama bunun yine de bir sınırı var gibi görünmektedir. Evrenin zekâyı destekleme kapasitesi, altıncı bölümde irdelediğim gibi, saniyede yalnızca 10^9 işlem olarak ortaya çıkmaktadır. Holografik evren gibi daha yüksek sayılar (örneğin, 10^{120}) ileri süren kuramlar da vardır ama bu düzeylerin hepsi de kesinlikle sonludur.

Temelde, bu tür bir zekânın yetenekleri bizim şu anda sahip olduğumuz zekâ düzeyine tabii ki sonsuz gibi görünebilir. 10^{90} cps'lik zekâyla doygunluğa ulaşmış bir evren bugün yeryüzünde bulunan tüm biyolojik beyinlerden trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon kat daha güçlü olacaktır.[3] Üçüncü bölümde irdelediğim gibi, bir kilogramlık bir "soğuk" bilgisayarın potansiyelinin bile 10^{42} cps'lik bir doruk noktası vardır, bu da, tüm biyolojik insan beyinlerinden on bin trilyon (10^{16}) kat daha güçlüdür.[4]

---

memiz mümkündür. Denklemin her iki tarafındaki pay ile paydanın yerlerini değiştirerek $y = 1/x$'i $x = 1/y$'ye çevirebiliriz. Böylece, eğer y'yi büyük bir sonlu sayı olarak alırsak, o zaman x'in çok küçüleceğini ama y ne kadar büyürse büyüsün sıfır olmayacağını görürüz. Yani, $x = 0$ ise, y'nin $y = 1/x$'deki değeri, y'ye verilecek herhangi bir sonlu değerden büyük olabilir. Bunu başka bir biçimde ifade etmek istersek, x'e 0'dan büyük ama 1'den küçük bir değer verip, x'i y'nin değerine bölersek, y'nin olası herhangi bir değerinden büyük bir sayı elde ederiz.

3 İnsan beyninin işlevsel simülasyonu için alınan 10^{16} cps'lik değerle (*bkz.* üçüncü bölüm) ve yaklaşık 10^{10} (on milyardan az) insan beyniyle bu, tüm biyolojik insan beyinleri için 10^{26} cps eder. Yani, 10^{90} cps bundan 10^{64} kat büyüktür. Eğer, her bir nöron bileşendeki (dentritler, akson vb) her doğrusalsızlığı simüle etmek için gerekli olduğunu öngördüğüm daha tutucu bir değer olan 10^{19} cps'i alırsak, 10^{61} çarpanını elde ederiz. Bir trilyon trilyon trilyon trilyon trilyon 10^{60} eder.

4 *Bkz.* önceki notta verilen değerler. 10^{42} cps, bundan on bin trilyon (10^{16}) kat büyüktür.

Üstel gösterim sisteminin gücü göz önüne alındığında, doğuracağı tüm sonuçları aklımızda canlandırabilecek düş gücümüz olmasa bile daha büyük sayıları kolaylıkla hesaplayıverebiliriz. Gelecekteki zekâmızın diğer evrenlere yayılma olasılığını tasarımlayabiliriz. Spekülatif de olsa bugünkü kozmoloji anlayışımız açısından bu türden bir senaryo akla uygundur. Bu, gelecekteki zekâmızın potansiyel olarak her tür sınırın ötesine geçmesine izin verebilecektir. Başka evrenler oluşturup orada kendi yerleşimlerimizi kurabilecek yeteneği elde edebilirsek (bunu yapmanın bir yolu varsa, gelecekteki uygarlığımızın engin zekâsı bunu işler duruma mutlaka getirebilecektir), zekâmız sonunda, herhangi bir belirli sonlu düzeyin ilerisine geçecek yeteneğe sahip olacaktır. Matematik fonksiyonlardaki tekillikler için söyleyebileceğimiz tam budur.

İnsanlık tarihi boyunca "tekilliği" kullanımımız, fizikteki kullanımına nasıl kıyaslanır? Fiziğin (kuarklara verilen "tılsım," "acayip" türünden isimler gibi) insan biçimci terimlere her zaman eğilimi olmuş, bu sözcüğü de matematikten ödünç almıştır. Fizikte "tekillik" kuramsal olarak sonsuz kitle yoğunluğuna, dolayısıyla sonsuz çekim gücüne sahip sıfır büyüklüğündeki noktayı belirtir. Ancak kuantum belirsizliği nedeniyle gerçek bir sonsuz yoğunluk noktası yoktur, gerçekten de kuantum mekaniği sonsuz değerlere izin vermez.

Tıpkı bu kitapta irdelediğim Tekillik gibi fizikteki tekillik de düşünülemez ölçüde büyük değerlere işaret eder. Fizikte de ilgi alanı aslında büyüklükteki sıfır değil, daha çok bir (gerçekte siyah bile olmayan) kara deliğin içindeki kuramsal tekillik noktasının çevresindeki olay ufkudur. Olay ufkunun içinde kütleçekim gücü çok yüksek olduğundan parçacıklar ve enerji, örneğin ışık gibi, kaçamaz. Bu nedenle olay ufkunun dışından, olay ufkunun içini kesin bir şekilde göremeyiz.

Bununla birlikte kara delikler parçacık yağmuru saçtıklarından, bir kara deliğin içini görmenin yolu var gibi görünmektedir. Olay ufkunun yakınlarında (uzayın her yerinde olduğu gibi) parçacık–karşı parçacık çiftleri oluşur, bu çiftlerden bazılarında çiftin bir teki kara deliğin içine çekilirken diğer teki kaçmayı başarır. Kaçabilen parçacıklar, kâşifleri Stephen Hawking'in adıyla

anılarak, Hawking ışıması adı verilen bir parlaklık oluştururlar. Bugünkü düşünce, bu ışımanın kara deliğin içinde olanları (kodlanmış biçimde ve içinde parçacıkların yer aldığı bir kuantum dolaşıklığının sonucunda) yansıttığıdır. Hawking başlangıçta karşı koymakla birlikte, artık bu açıklamaya katılır gibi görünmektedir.

Böylelikle, "Tekillik" teriminin bu kitaptaki kullanımının, fizik toplumunun bu terimi kullanım biçiminden daha az uygun olmadığını görüyoruz. Bir kara deliğin olay ufkunun ötesini görebilmemiz ne kadar zorsa, tarihsel Tekilliğin olay ufkunun ötesini görebilmemiz de o kadar zordur. Her biri 10^{16} ile 10^{19} cps arasında sınırlı beyinlerimizle, 2099 yılındaki gelecek uygarlığımızın 10^{60} cps'lik beyniyle neler yapıp düşünebileceğini nasıl tasarımlayabiliriz?

Yine de fiilen bir kara deliğin içine girmemiş olsak da kavramsal düşünme gücümüzle kara deliklerin doğası hakkında sonuçlar çıkarabildiğimiz gibi, bugünkü düşüncemiz de Tekilliğin anıştırdığı sonuçlar hakkında anlamlı içgörüye sahip olmamızı sağlayacak güçtedir. Bu kitapta yapmaya çalıştığım budur.

İnsanın Merkeziliği. Ortak bir görüş, bilimin kendi önemimiz hakkındaki şişirilmiş düşüncelerimizi düzenli olarak düzelttiğidir. Stephen Jay Gould, "En önemli bilimsel devrimlerin hepsinin ortak özelliği, insanın evrenin merkezi olduğu inancının getirdiği kibiri, basamak basamak tahtından indirmiş olmalarıdır."[5]

Ancak görünen, her şeye karşın merkezde olduğumuzdur. Beynimizde modeller kurabilme yeteneğimiz –sanal gerçeklikler– ile alçakgönüllü görünüşlü başparmağımızın birleşmesi farklı bir evrim biçimi olan teknolojinin yolunu hazırlamaya yetmiştir. Bu gelişme, biyolojik evrimle başlayan ivmelenen hızın sürekliliğini sağlamıştır. Tüm evreni parmaklarımızın ucuna alana kadar da sürecektir.

---

5 Stephen Jay Gould, "Jove's Thunderbolts," *Natural History* 103.10 (Ekim 1994): 6–12; *Dinosaur in a Haystack: Reflections in Natural History* içinde 13. bölüm (New York: Harmony Books, 1995).

KAYNAKLAR VE İLETİŞİM

Singularity.com

Bu kitapta ele alınan çeşitli alanlarda ortaya çıkan yeni gelişmeler ivmelenen hızla çoğalmaktadır. Hıza ayak uydurmanıza yardımcı olmak için sizi Singularity.com sitesine davet etmek istiyorum. Bu sitede,

- Son haberlerin öyküleri
- KurzweilAI.net sitesinden 2001 yılına kadar uzanan binlerce ilgili haber öyküsü (aşağıya bakınız)
- KurzweilAI.net sitesinden konuyla ilgili yüzlerce makale
- Araştırma bağlantıları
- Tüm şemalara ait veri ve alıntılar
- Bu kitap hakkında malzeme
- Bu kitaptan alıntılar
- Çevrimiçi sonnotlar

KurzweilAI.net

Sizi, yüzden fazla "büyük düşünürün" (bu kitapta çoğundan alıntı yapılmıştır) altı yüzden fazla makalesinin, binlerce haber, olaylar listesi ile diğer unsurların yer aldığı ödüllü web sitemiz KurzweilAI.net'e de çağırmak isterim. Okur sayımız son altı ay içinde bir milyonun üzerine çıktı. KurzweilAI.net'de bulunan memler:

- Tekillik
- Makineler Bilinçlenecek mi?
- Sonsuza Kadar Yaşamak
- Bir Beyin Nasıl Yapılır?
- Sanal Gerçeklikler
- Nano teknoloji
- Tehlikeli Gelecekler
- Gelecek Vizyonu
- Tez/Antitez

KurzweilAI.net'in ana sayfasındaki tek satırlık basit forma e–posta adresinizi yazarak ücretsiz (günlük ya da haftalık) bültenimize abone olabilirsiniz. E–posta adresinizi kimseyle paylaşmayız.
Fantastic–Voyage.net ve RayandTerry.com
Sağlığını bugünden en iyi duruma getirip, geleceğe bakışını Tekilliği yaşayıp tanıklık edebilecek kadar uzun bir yaşama dönüştürmek isteyenler, Fantastic–Voyage.net ve RayandTerry.com sitelerini ziyaret edebilirler. Bu siteleri, sağlık ortağım ve *Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever* adlı kitabı birlikte yazdığım, tıp doktoru Terry Grossman'la hazırladık. Bu siteler, bugün sahip olduğumuz bilgilerle sağlığınızı geliştirebilmeniz, böylece biyoteknoloji ve nano teknoloji devrimleri tam olarak olgunlaştığında sağlığınızın ve moralinizin iyi durumda olmasını sağlayabilmeniz için kapsamlı bilgiler içerir.

Yazarla İletişim

Ray Kurzweil'a *ray@singularity.com*

Ek: İvmelenen Getiriler Yasasının Yeniden Ele Alınması

Aşağıdaki çözümleme, çift üstel olgu (yani, üstel büyüme oranının –üs değerinin– kendisinin üstel olarak büyüdüğü üstel büyüme) olarak evrimsel değişimi anlamanın temelini sağlamaktadır. Burada, bilgi işlemin gücündeki artışı betimleyeceğim. Ancak benzer formüller, evrimin diğer yönleri, özellikle de bilgi ve zekâ yazılımının temel kaynağı olan insan zekâsı dahil veri tabanlı süreç ve teknolojiler için de geçerlidir.

Bizi ilgilendiren üç değişkendir:

V: Bilgi işlemin hızı (yani, gücü), (birim maliyet başına düşen bir saniyedeki işlem sayısıyla ölçülür)

W: Dünyada bilgi işlem aygıtlarının tasarımı ve yapılması konusunda var olan bilgi

t: Zaman

Birinci dereceden bir çözümlemede, bilgisayar gücünün *W*'nin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu gözlemliyoruz. Ayrıca *W*'nin kümülatif olduğunu da görüyoruz. Bu, ilgili teknoloji algoritmalarının artarak biriktikleri gözlemine dayanmaktadır. Örneğin, insan beyni söz konusu olduğunda evrim psikologları, beynin zaman içinde artarak evrime uğrayan yoğun modüler bir zekâ sistemi olduğunu tartışırlar. Bu basit modelde de bilginin uğradığı anlık artış bilgi işlem gücüne orantılıdır. Gözlemler bizi bilgi işlem gücünün zaman içinde üstel olarak büyüdüğü sonucuna götürmektedir.

Bir başka deyişle, bilgisayarın gücü, bilgisayarların nasıl yapılacağı hakkındaki bilginin doğrusal fonksiyonudur. Bu aslında tutucu bir varsayımdır. Genelde yenilikler *V* değerini katlayarak geliştirir, toplayarak değil. Bağımsız (her biri bilginin doğrusal artışını sağlayan) yenilikler, birbirlerinin etkilerini katlarlar. Örneğin, CMOS (bütünleyici metal oksit yarı iletken) gibi devrelerde ortaya çıkan bir gelişme, tümleşik devre kablolamasının daha verimli bir yöntemi, ardışık düzenleme gibi bir işlemci yeniliği ya da hızlı Fourier dönüşümü gibi bir algoritmik gelişme *V*'yi bağımsız çarpanlarla artırır.

Belirtildiği gibi ilk gözlemlerimiz şunlardır:

Bilgi işlemin hızı dünyadaki bilgiyle orantılıdır:

(1) $V = c_1 W$

Dünyadaki bilginin değişim hızı bilgi işlemin hızıyla orantılıdır:

(2) $dW / dt = c_2 V$

(1)'in yerine (2)'yi koyduğumuzda:

(3) $dW / dt = c_1 c_2 W$

Bunun çözümü şöyledir:

(4) $W = W_0 e^{c_1 c_2 t}$

ve *W* zamanla üstel olarak artar (*e*, doğal algoritmaların tabanıdır).

Derlediğim veriler üstel büyümenin (yirminci yüzyılın başlarında bilgisayarın gücünü her üç yılda bir, yüzyılın ortalarında her iki yılda bir ikiye katladık, şimdiyse her yıl ikiye katlıyoruz) hızında (üst değerinde) üstel artış olduğunu göstermektedir. Teknolojinin üstel gelişen gücü, ekonominin üstel büyümesini doğurur. Bu, en azından bir yüzyıl geriye bakıldığında görülebilir. İlginç olan, Büyük Buhran dönemi de dahil, ekonomik duraklamalar, temeldeki üstel büyümenin üzerindeki oldukça zayıf dalgalanmalar olarak örneklenebilmektedir. Her durumda da ekonomi çabucak, söz konusu duraklama/buhranın olmaması durumunda bulunacağı yere dönüverir. Bilgisayar endüstrisi gibi üstel gelişme gösteren teknolojilere bağlı belirli endüstrilerde üstel gelişmenin daha da hızlı olduğunu görebiliriz.

Eğer hesaba bilgi işlemin üstel gelişen kaynaklarını da katarsak, ikinci bir düzeydeki üstel büyümenin kaynağını da görebiliriz.

Burada da elimizde şu vardır:

(5) $V = c_1 W$

Ama bu noktada, bilgi işlemde yararlanılan N kaynaklarının da üstel geliştiği gerçeğini hesaba alıyoruz:

(6) $N = c_3 e^{c_4 t}$

Dünyadaki bilginin değişim hızı artık bilgi işlemin ve yararlanılan kaynakların hızlarının ortaya koyduğu ürünlerle orantılıdır:

(7) $dW / dt = c_2 NV$

(5) ile (6)'nın yerine (7)'yi koyduğumuzda şunu elde ederiz:

(8) $dW / dt = c_1 c_2 \, c_3 \, e^{c_4 t} W$

Çözüm şöyledir:

(9) $W = W_0 \, exp \left(c_1 c_2 c_3 / c_4 \quad e^{c_4 t} \right)$

ve dünyadaki bilgi çift üstel hızla birikmektedir.

Şimdi, biraz da gerçek dünyadan alınan verilere bakalım. Üçüncü bölümde beynin tüm bölgelerinin işlevsel simülasyonu için gerekenlere dayanarak insan beyninin bilgi işleme kapasitesini yaklaşık 10^{16} cps olarak hesapladım. Her nörondaki ve her nöron arası bağlantıdaki belli başlı doğrusalsızlıkların simüle edilmesi daha yüksek bir bilgi işlem düzeyi gerektirecektir: 10^{11} nöron çarpı bağlantı başına ortalama 10^3 bağlantı (hesaplamalar öncelikle bağlantılarda gerçekleştiğinden) çarpı saniyede 10^2 işlem çarpı işlem başına 10^3 hesaplama, toplamda yaklaşık 10^{19} cps. Aşağıdaki çözümlemede işlevsel simülasyon düzeyi alınmıştır (10^{16} cps).

Üçüncü Çözümleme

Yirminci yüzyıldaki gerçek hesap aygıtları ve bilgisayarlardan elde edilen verileri göz önüne alarak:

S = cps/1000 dolar, ise: 1000 dolar karşılığında saniyedeki hesap sayısı.

Yirminci yüzyılın verileri şuna eşdeğerdir:

$$S = 10^{\left[6{,}00 \times \left[\left(\frac{20{,}40}{6{,}00}\right)^{\left[\frac{Yıl - 1900}{100}\right]}\right] - 11{,}00\right]}$$

Bir zaman dilimindeki büyüme hızı G'yi şöyle belirleyebiliriz:

$$G = 10^{\left(\frac{\log(Sc) - \log(Sp)}{Yc - Yp}\right)}$$

Sc, içinde bulunulan yıl için cps/1000 dolar ise, Sp de önceki yıl için cps/1000 dolardır, Yc içinde bulunulan yıl, Yp de önceki yıldır.

İnsan beyni = saniyede 10^{16} hesaplama.

İnsan ırkı = 10 milyar (10^{10}) insan beyni = saniyede 10^{26} hesaplama.

2023 yılı dolaylarında 1000 dolar karşılığında bir insan beyninin (10^{16}) yeteneklerini elde edebiliriz.

2037 yılı dolaylarında 1 sent karşılığında bir insan beyninin (10^{16}) yeteneklerini elde edebiliriz.

2049 yılı dolaylarında 1000 dolar karşılığında bütün bir insan ırkının (10^{26}) yeteneklerini elde edebiliriz.

Eğer üstel olarak büyüyen ekonomiyi, özellikle de bilgi işlemin yararlandığı kaynakları (şu anda yılda bir trilyon dolardır) hesaba katarsak, yüzyılın yarısına gelmeden, biyolojik olmayan zekânın biyolojik zekâdan milyarlarca kat daha güçlü olacağını görebiliriz.

Çift üstel büyümeyi bir başka yoldan da bulabiliriz. Yukarıda, bilginin eklenme hızının (dW/dt) zaman içinde herhangi bir anda bilgiyle en azından orantılı olduğunu belirttim. Birçok yeniliğin (bilgide artış) süregelen hıza, eklenen yerine çarpan etkisi olduğunu göz önünde bulundurusak, bunun tutucu bir yaklaşım olduğu açıktır.

Ancak, bu biçimin üstel büyüme hızı olduğunda:

$$(10) \quad \frac{dW}{dt} = C^{w}$$

Burada $C>1$ ise, bunun çözümü:

$$(11) \quad W = \frac{1}{\ln C} \ln\left(\frac{1}{1 - t\ln C}\right)$$

$t < 1/\ln C$ olduğundan bu çözüm, yavaş bir logaritmik büyüme verir, ama sonra, $t = 1/\ln C$'deki tekilliğe yaklaştığında patlar.

Tutucu bir sonuç olan $dW/dt = W^2$ bile tekillik sonucunu verir. Gerçekte, bu biçimin güç yasasının büyüme hızını gösteren her formül:

$$(12) \quad \frac{dW}{dt} = W^{a}$$

a>1 ise, tekilliği veren bir çözüme ulaşır:

T zamanında,

$$(13) \quad W = W_o \frac{1}{(T-t)^{\frac{1}{a-1}}}$$

a'nın değeri ne kadar yüksekse tekillik o kadar yakındır.

Bence, madde ve enerjinin sonlu olduğu bilinen kaynakları dikkate alındığında, sonsuz bilgiyi düşünmek zordur, bugüne kadar ortaya çıkan eğilimler de çift üstel bir sürece eşdeğerdir. Eklenen (W'ye) süre, W x log(W) biçiminde görünür. Bu süre, bir ağ etkisi betimler. Eğer elimizde internet gibi bir ağ varsa, etkisi ya da değeri rahatlıkla, n'yi düğüm sayısı olarak alırsak, n x log(n)'ye orantılı olarak gösterilebilir. Her bir düğüm (her kullanıcı) bundan yararlanır, dolayısıyla bu n çarpanını açıklar. Her kullanıcının (her düğümün) elde ettiği değer = log(n). Bob Metcalfe (Ethernetin mucidi) n düğümden oluşan bir ağın değerini = c x n^2 olarak kabul etmiştir, ama bu değer abartılıdır. Eğer internetin büyüklüğü ikiye katlanırsa, benim için değeri artar ama ikiye katlanmaz. Bir ağın her kullanıcı için değerinin, ağın büyüklüğünün logaritmasıyla orantılı olduğunu akla yatkın bir tahmin olarak göstermek mümkündür. Böylelikle, genel değeri, n x log(n) ile orantılıdır.

Bunun yerine büyüme hızı logaritmik bir ağ etkisi içeriyorsa, değişim hızı için şöyle bir denklem elde ederiz:

$$(14) \quad \frac{dW}{dt} = W + W \ln W$$

Bunun çözümü, daha önce verilerde gördüğümüz bir çift üsteldir:

$$(15) \quad W = \exp(e^t)$$

DİZİN

Ray Kurzweil, son yıllarda *tekillik* hakkında üretilen tüm bilgi birikimini tek bir ciltte toplamış, cildi de kapımıza çivilemiştir. Savları yine de öylesine inanılmaz ki, eğer bunlar doğruysa, bu, bildiğimiz anlamıyla dünyanın sonu ve ütopyanın başlangıcı anlamına gelmekte. On yılın en çok konuşulan kitaplarından biri olmaya aday.

"Ray Kurzweil, tanıdığım insanlar arasında yapay zekânın geleceğini en iyi öngörebilen kişi. İnsanı meraklandıran bu yeni kitabı, bilgi teknolojilerinin insanlığın biyolojik sınırlarını aşmasını sağlayacak kadar hızlı geliştiği, yaşamlarımızı bugün hayal bile edemeyeceğimiz biçimlerde dönüştüren bir geleceği öngörüyor."

—Bill Gates

"Kurzweil'in ana düşüncesini herkes kavrayabilir: İnsanlığın teknolojik bilgisi, geleceğe dair baş döndürücü beklentilerle çığ gibi büyümektedir. Temel konular net biçimde dile getirilmiş. Ama daha bilgili, daha araştırmacı olanlar için yazar görüşlerini büyüleyici ayrıntılarla ortaya koymuş... *İnsanlık 2.0* sarsıcı bir bakışa ve yürekliliğe sahip."

—Janet Maslin, *The New York Times*

"Gerçekten, ama gerçekten çok iyi. Müthiş bir biçimde iyi."

—Businessweek.com

"Ray'in iyimser kitabı hem okunmayı hem de üzerinde düşünmeyi hak ediyor. Umutlar ve tehlikelerin dengesi konusunda Ray'den farklı düşünen benim gibiler için bu kitap, ivmelenen bu olanaklardan doğan daha büyük kaygıların ele alınması için sürdürülmesi gereken diyaloğa açık bir çağrıdır."

—Bill Joy, Sun Microsystems



ALFA
www.alfakitap.com
/alfakitap
/alfakitap
/alfakitap



ALFA BİLİM
ISBN 978-605-171-255-0
9 786051 712550